

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
IM. JERZEGO KUKUCZKI W KATOWICACH

Monika Papla

**ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY SIŁĄ I MOCĄ KOŃCZYN DOLNYCH
A EFEKTYWNOŚCIĄ ZMIANY KIERUNKU BIEGU U ZAWODNIKÓW
ZESPOŁOWYCH GIER SPORTOWYCH**

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej w postaci zbioru
opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych

Promotor:
dr hab. Michał Krzysztofik prof. AWF Katowice

Katowice 2024

Wykaz publikacji będących podstawą rozprawy doktorskiej

1.

Tytuł oryginału: Relationship Between Lower Limb Power Output, Sprint and Change of Direction Performance in Soccer Players.

Autorzy: Monika Papla, Agata Latocha, Wojciech Grzyb, Artur Gołaś

Czasopismo: Baltic Journal of Health and Physical Activity

Opis fizyczny: 2022, Vol. 14, nr 3, Article 3

Punktacja MEiN: 70

2.

Tytuł oryginału: Contribution of Strength, Speed and Power Characteristics to Change of Direction Performance in Male Basketball Players

Autorzy: Monika Papla, Dawid Perenc, Adam Zając, Adam Maszczyk, Michał Krzysztofik

Czasopismo: Applied Sciences

Opis fizyczny: 2022, Vol. 12, nr 17, s 8484

Impact Factor: 2.7

Punktacja MEiN: 100

3.

Tytuł oryginału: Acute Effects of Complex Conditioning Activities on Athletic Performance and Achilles Tendon Stiffness in Male Basketball Players

Autorzy: Monika Papla, Paulina Ewertowska, Michał Krzysztofik

Czasopismo: Journal of Sport Science & Medicine





Opis fizyczny: 2023, Vol. 22, 281-287

Impact Factor: 3.2

Punktacja MEiN: 100

Oświadczenie autora i pozostałych współautorów publikacji




1. Relationship Between Lower Limb Power Output, Sprint and Change of Direction Performance in Soccer Players

Imię i nazwisko autora	Koncepcja pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie manuskryptu [%]	Udział w procesie recenzenckim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Monika Papla*	10	20		20	15	65	
Agata Latocha		5				5	
Wojciech Grzyb			10			10	
Artur Golaś	10			5	5	20	

2. Contribution of Strength, Speed and Power Characteristics to Change of Direction Performance in Male Basketball Players

Imię i nazwisko autora	Koncepcja pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie manuskryptu [%]	Udział w procesie recenzenckim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Monika Papla	15	10		15	10	55	
Dawid Perenc			5			5	
Adam Zając					5	5	
Adam Maszczyk			5			5	
Michał Krzysztofik*	15		10		10	30	

3. Acute Effects of Complex Conditioning Activities on Athletic Performance and Achilles Tendon Stiffness in Male Basketball Players

Imię i nazwisko autora	Koncepcja pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie manuskryptu [%]	Udział w procesie recenzenckim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Monika Papla*	15	15		15	10	55	
Paulina Ewertowska			5			5	
Michał Krzysztofik	10		15	10	5	40	

Spis treści

1. Streszczenie	6
2. Summary	9
3. Wstęp	12
4. Przedmiot rozprawy	16
4.1 Cel badań, pytania badawcze, hipoteza	16
4.2 Osiągnięcia naukowe	18
5. Materiał i metody badawcze	19
5.1. Metody analizy statystycznej	24
6. Wyniki badań	26
7. Dyskusja	28
8. Wnioski	34
9. Bibliografia	36
10. Kopie prac wchodzących w skład cyklu publikacji	42
10.1 Praca nr 1	42
10.2 Praca nr 2	52
10.3 Praca nr 3	62
11. Zgoda komisji bioetycznej	69

Skróty zastosowane w pracy

MAT- (ang. modified T-test) zmodyfikowany T-test

COD- (ang. change of direction) zmiana kierunku biegu

LP- (ang. leg press) trener do wypychania obciążenia kończynami dolnymi siedząc

CMJ- (ang. countermovement jump) skok pionowy z miejsca bez zamachu kończyn górnych

DJ- (ang. drop jump) skok pionowy po zeskoku w głąb

1RM- (ang. one-repetition maximum) jedno powtórzenie maksymalne

PAPE- (ang. post-activation performance enhancement) efekt poaktywacyjnego wzrostu sprawności fizycznej

RSI- (ang. reactive strength index) wskaźnik siły reaktywnej

AD- (ang. adductors) mięśnie przywodzące kończynę dolną

AB- (ang. abductors) mięśnie odwodzące kończynę dolną

1. Streszczenie

Słowa kluczowe: COD, piłka nożna, koszykówka, poaktywacyjny wzrost sprawności fizycznej, zwinność

Zmiana kierunku biegu (COD) to kluczowy sposób poruszania się w grach zespołowych szczególnie takich jak piłka nożna, piłka ręczna, siatkówka czy koszykówka (Michailidis i in. 2020; Katsumata i Aoki 2021; Scanlan i in. 2021), podczas gdy przemieszczanie się w linii prostej zajmuje około 30% czasu gry (McInnes i in. 1995; Ben Abdelkrim i in. 2007). W związku z tym, badacze oraz trenerzy przywiązują coraz większą uwagę do umiejętności COD w procesie treningowym. Dotychczas zaproponowano wiele testów do weryfikacji umiejętności COD, a różnicują je przede wszystkim takie parametry jak kąt zmiany kierunku biegu, ilość tych zmian, dystans czy sposób poruszania się podczas testu. COD to złożona czynność ruchowa wymagająca przyspieszania, hamowania i ponownego przyspieszania, przez co nie może być zdefiniowana poprzez jedną zdolność motoryczną. W związku z powyższym, właściwe wdrożenie zaawansowanych metod oraz programów treningowych, które skupiają się na doskonaleniu umiejętności COD, wymaga ustalenia zależności między wskaźnikami COD a siłą i mocą mięśniową kończyn dolnych.

Celem pierwszej pracy przedstawionej w niniejszym zbiorze artykułów było ustalenie zależności między poziomem mocy uzyskanej podczas wypychania obciążenia kończynami dolnymi siedząc z wykorzystaniem trenażera (ang. leg press [LP]) oraz czasem sprintu na 5 i 20m, a czasem uzyskanym w testach COD; „L” test oraz „ZigZag” test. Z kolei, celem drugiej pracy było określenie powiązań między czasem uzyskanym w zmodyfikowanym t-test (MAT – modified t-test), a mocą uzyskaną podczas LP oraz siłą maksymalną generowaną w warunkach izometrycznych podczas odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych, czasem sprintu na 5 i 20m oraz wybranymi zmiennymi kinematycznymi w skokach pionowych (z miejsca bez zamachu kończyn górnych [CMJ] oraz po zeskoku w głąb [DJ]). W efekcie, celem trzeciej pracy było zweryfikowanie czy kompleks aktywacyjny zaprojektowany na podstawie wyników dostarczonych z wcześniejszych prac będzie miał istotny natychmiastowy wpływ na czas uzyskany w teście MAT. Postawiono hipotezy, że: i) moc uzyskana podczas LP będzie ujemnie skorelowana z czasem sprintu i czasem w testach „L” oraz „ZigZag”, a także, że asymetria międzykończynowa w poziomie uzyskanej mocy będzie pozytywnie skorelowana z czasem badanych testów COD; ii) moc uzyskana podczas LP, poziom względnej mocy uzyskanej podczas CMJ i DJ oraz maksymalna siła generowana w warunkach izometrycznych

podczas testów odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych będzie ujemnie skorelowana z czasem testu MAT; iii) kompleks aktywacyjny o wysokiej intensywności wykonywany w sposób unilateralny (przysiad w wykroku oraz skok lateralny po zeskoku w głąb) w istotny i natychmiastowy sposób przyczyni się do skrócenia czasu w teście MAT.

Każdorazowo do pomiaru czasu na wybranych testach biegowych wykorzystano fotokomórki Witty Gate (Microgate, Bolzano, Włochy). Badani startowali z pozycji wysokiej, z kończyną dolną ustawioną 0,5m przed linią startu. Przed wykonywaniem testów biegowych zostali poinstruowani, aby wykonać zadanie tak szybko jak to możliwe. Testy wykonywane były zawsze dwukrotnie z 3 minutową przerwą pomiędzy powtórzeniami, a lepszy z uzyskiwanych czasów użyto do analizy. Podczas każdej próby uczestnicy badań startowali, gdy byli gotowi, aby wyeliminować wpływ czasu reakcji. Do pomiarów skoków użyto platformy dynamometrycznej (Force Decks, Vald Performance, Albion, Australia; częstotliwość próbkowania 1000Hz). CMJ wykonywany był z pozycji stojącej, kończyny dolne ustawione na szerokość obręczy barkowej, a dłonie na biodrach. Uczestnicy proszeni byli o wykonanie przysiadu i natychmiastowe wykonanie maksymalnego skoku pionowego bez zamachu kończyn górnych, pozycja końcowa była taka sama jak pozycja wyjściowa. Natomiast DJ wykonywany był ze skrzyni o wysokości 60 cm, badani poinformowani byli, aby zainicjować skok swobodnym opadem (nie wyskokiem) ze skrzyni, a następnie po kontakcie z podłożem wyskoczyć możliwie jak najszybciej i najwyżej. Procedurę za każdym razem wykonywano dwukrotnie.

W badaniu pierwszym uczestniczyli zawodnicy piłki nożnej (badanie 1), a w badaniu 2 i 3 koszykarze. Głównym osiągnięciem pierwszego badania było wykazanie braku powiązań między czasem uzyskanym w teście „L” oraz „ZigZag”, a mocą uzyskaną podczas LP oraz czasem w sprincie na dystansie 5 i 20 m. Drugie badanie dostarczyło wiedzy, że czas uzyskany w teście MAT można w istotny sposób wytłumaczyć przez wskaźniki siły i mocy kończyn dolnych. Współczynnik determinacji wykazał, że 93% czasu MAT zainicjowanego lewą kończyną dolną można wyjaśnić modelem obejmującym maksymalną moc uzyskaną przez lewą kończynę dolną podczas LP, siłę generowaną w warunkach maksymalnego izometrycznego przywodzenia lewej kończyny dolnej, a także wysokością skoku CMJ. Z kolei 83% czasu MAT zainicjowanego prawą kończyną dolną można przewidzieć przez siłę maksymalną generowaną w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia i odwodzenia lewej kończyny dolnej. Korelacje między wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych a MAT zainicjowanym w lewą i prawą stronę były podobnie istotne, z wyjątkiem wysokości CMJ,

która była silnie ujemnie skorelowana z MAT zainicjowanym lewą nogą. Natomiast badanie 3, w którym oceniono efektywność dwóch kompleksów aktywacyjnych składających się z i) 2 serii po 4 powtórzenia przysiadów obunóż ze sztangą z obciążeniem równym 80% jednego powtórzenia maksymalnego i 10 powtórzeń DJ oraz ii) 2 serii po 2 powtórzenia przysiadów w wykroku na każdą kończynę dolną z obciążeniem równym 80% jednego powtórzenia maksymalnego i po 5 powtórzeń odbicia lateralnego po zeskoku w głąb wykazało brak istotnego wpływu tych kompleksów na czas kolejno wykonywanego testu MAT w grupie koszykarzy.

Przedstawiony cykl badań wykazał, że czas uzyskany w teście MAT, ale nie w testach "L" i "ZigZag", może być istotnie powiązany z wybranymi wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych. Natomiast kompleks aktywacyjny, obejmujący przysiady i DJ o wysokiej intensywności, nie wykazał natychmiastowego wpływu na czas uzyskiwany w kolejnym teście MAT, niezależnie od tego, czy ćwiczenia były wykonywane bilateralnie czy unilateralnie. Wskazuje to, że trening ukierunkowany na poprawę czasu uzyskanego w teście MAT powinien koncentrować się na kształtowaniu siły i mocy prostowników stawu kolanowego oraz odwodzicieli kończyn dolnych. Jednakże, takie połączenie ćwiczeń nie przyczynia się do natychmiastowej poprawy czasu MAT.

2. Summary

Title: STRENGTH AND POWER OF THE LOWER LIMBS AND THE EFFECTIVENESS OF CHANGE OF DIRECTION (COD) IN TEAM SPORT GAMES.

Key words: COD, soccer, basketball, post-activation performance enhancement, agility

Change of Direction (COD) is a key mode of movement in team sports games, especially in soccer, handball, volleyball, and basketball (Michailidis et al., 2020; Katsumata and Aoki, 2021; Scanlan et al., 2021), with linear sprinting accounting for approximately 30% of game time (McInnes et al., 1995; Ben Abdelkrim et al., 2007). Consequently, researchers and coaches are increasingly focusing on the COD efficiency during the training process. Various tests have been proposed to assess COD ability, primarily distinguished by variables such as angle of change, number of changes, distance, and type of movement during the test. COD is a complex motor skill that requires acceleration, deceleration, and reacceleration, thus cannot be defined by a single ability or feature. Accordingly, the effective implementation of advanced methods and training programs aimed at improving COD skills requires establishing the relationship between COD indicators and lower limb strength or power.

The aim of the first study presented in this collection of articles was to determine the relationship between the level of power evaluated during the seated leg press (LP) and sprint 5 and 20m time, as well as the time obtained in COD tests, namely the 'L' test and the 'ZigZag' test. The second objective of the study was to examine the relationship between the time obtained in the modified t-test (MAT) and the LP power output, and the maximum isometric lower limb abduction and adduction strength tests, 20m sprint time, and selected kinematic variables of vertical jumps (countermovement jump without arm swing [CMJ] and drop jumps [DJ]). Consequently, the aim of the third study was to verify whether the activation complex designed based on the results provided from previous studies would have a significant acute impact on the results of the MAT test. The hypotheses were as follows: i) the LP power output will be negatively correlated with sprint time and 'L' and 'ZigZag' test time, and the interlimb asymmetry in power output will be positively correlated with the COD test time; ii) the LP power output, the CMJ and DJ relative power output, and the maximum isometric lower limbs abduction and adduction strength would be negatively correlated with the MAT test time;

iii) a high-intensity activation complex performed unilaterally (split squat and depth jump to lateral hop) will acutely reduce MAT test time.

The Witty Gate photocells (Microgate, Bolzano, Italy) were used to measure the time in the selected running tests. The participants started from a standing position, with the foot positioned 0.5m behind the starting line. Before performing the running tests, participants were instructed to complete the task as quickly as possible. The tests were always performed twice with a 3-minute rest interval between repetitions, and the better time was used for analysis. During each attempt, the participants started when they were ready to eliminate the influence of reaction time. A force platform (Force Decks, Vald Performance, Albion, Australia; sampling frequency 1000Hz) was used for jump performance measurements. CMJ was performed from a standing position, with the lower limbs at shoulder width and the hands on the hips. The participants were asked to perform a squat and immediately perform a maximum CMJ, with the final position the same as the starting position. DJ, was performed from a 60 cm box, with the participants informed to initiate the jump with a free fall (not a jump) from the box, and then after contacting the ground, jump as quickly and as high as possible. Two trials were performed.

In the first study, the sample consisted of soccer players, and in studies 2 and 3, basketball players participated. The main finding of the first study was the lack of relationships between the 'L' and 'ZigZag' tests' time and the LP power output and sprint time over a distance of 5 and 20 m. The second study provided evidence that the indicators of lower limb strength and power could significantly explain the MAT test time. The coefficient of determination showed that 93% of the MAT time initiated to the left could be explained by a model including the left lower limb LP maximum power output, maximum isometric left lower limb adduction strength, and the CMJ height. On the other hand, 83% of the MAT time initiated to the right could be predicted by the maximum isometric left lower limb adduction and abduction strength. The correlations between the indicators of lower limb strength and power and MAT time initiated on the left and right sides were similarly significant, except for the CMJ height, which was strongly negatively correlated with MAT initiated to the left. The third study, which evaluated the effectiveness of two activation complexes consisting of i) 2 sets of 4 repetitions of bilateral squats at 80% one-repetition maximum and 10 DJ, and ii) 2 sets of 2 repetitions of split squats on each limb at 80% one-repetition maximum and 5 depth jumps to lateral hop on each limb, showed no significant impact on the subsequent MAT test time in basketball players.

The presented research cycle showed that the time obtained in the MAT test, but not in the 'L' and 'ZigZag' tests, may be significantly related to selected lower limb strength and power indices. While such a combination of exercises does not lead to an acute significant improvement in MAT test results.

3. Wstęp

Gry zespołowe takie jak koszykówka i piłka nożna charakteryzują się licznymi (od 550 do nawet 1000 razy) zmianami kierunku biegu (COD), a także zmianami prędkości poruszania się (Bloomfield i in. 2007; Drinkwater i in. 2008; McInnes i in. 1995; Papla i in. 2020). Dodatkowo autorzy zwracają uwagę na to, że sprinty na dystansie 3-5 metrów stanowią około 30% czasu gry, a pozostały czas to różnego rodzaju zmiany kierunku (Ben Abdelkrim i in. 2007; McInnes i in. 1995). Występują różnorodne sposoby oceny umiejętności COD takie jak bieg wahadłowy, test trójstożkowy, ZigZag, L-test, T-test, test zwinności Illinois (Sassi i in. 2009; Lockie i in. 2013; Hachana i in. 2013; Dugdale i in. 2018; Collins i in. 2018), dzięki czemu trenerzy mogą w praktyce zastosować odpowiedni dla specyfiki dyscypliny sportu test. Cechą wspólną wszystkich testów COD jest zdolność zawodnika do przyspieszania, zwalniania oraz ponownego przyspieszania w nowym kierunku co wymaga szybkiego dostosowania generowanej siły. Natomiast różnicuje je dystans biegu, liczba zmian kierunku w trakcie jednego testu oraz kąt zmiany kierunku biegu. Zgodnie z sugestiami Falch i in. (2019) oraz Bourgeois (2017) uważa się, że kąty zmiany poniżej 90° są uznawane za w większym stopniu zależne od poziomu prędkości, a te powyżej 90° . Ponadto, niektóre ze stosowanych testów, jak zmodyfikowany T-test (MAT) uwzględnia różne sposoby poruszania się tj. bieg w linii prostej, krok odstawno-dostawny oraz bieg tyłem, co odwzorowuje niektóre sytuacje meczowe (np. w koszykówce, siatkówce czy piłce ręcznej) oraz odróżnia go od innych testów COD (Lockie i in. 2014; Scanlan i in. 2021). W związku z tymi spostrzeżeniami badacze coraz częściej poszukują zmiennych które mają wpływ na uzyskanie lepszych wyników w próbach COD (Nimphius i in. 2010; Lockie i in. 2014; Bishop i in. 2020; O'Grady i in. 2021). Od dawna uważa się, że konwencjonalny trening siły i mocy mięśniowej kończyn dolnych przyczynia się do istotnego skrócenia czasu uzyskiwanego w testach COD (Brughelli i in. 2012). Jednak dowody naukowe nie są zgodne w kwestii, które z wskaźników siły i mocy mięśniowej kończyn dolnych są w największym stopniu powiązane z czasem uzyskanym w wybranych testach COD (Spiteri i in. 2014; Papla i in. 2020; Suarez-Arrones i in. 2020). Na przykład, Spiteri i in. wykazali, istotne ujemne korelacje między maksymalną siłą dynamiczną (w przysiadzie ze sztangą) i generowaną w warunkach izometrycznych (izometryczny martwy ciąg z wysokości uda) a czasem w T-test i 505. Z kolei, Papla i in. wykazali, że czas sprintu liniowego na dystansie 20 m, wynik testu jednego powtórzenia maksymalnego (1RM) podczas przysiadu ze sztangą oraz mocą uzyskaną podczas przysiadu z obciążeniem 50% 1RM a czasem w testach „ZigZag” i testem „L” to odrębne zmienne. Również Suarez-Arrones i in. wykazali, że

wysokość skoków pionowych z zamachem ramion (countermovement jump – CMJ with arm swing), sprint na dystansie 10 m, oraz poziom mocy uzyskany w przysiadzie to odrębne zdolności motoryczne, które nie tłumaczą czasu osiąganego w testach COD ze zmianą kierunku o kątach 90 i 180°.

Wśród powszechnie stosowanych testów COD, test MAT jest jednym z niewielu, który łączy różnorodne sposoby poruszania się. Test ten jest rekomendowany jako test COD dla koszykarzy i siatkarzy, ponieważ skutecznie odzwierciedla czynności ruchowe wykonywane w trakcie rywalizacji sportowej (Wen i in. 2018). Niemniej, zgodnie z najlepszą wiedzą autorki, tylko jedno badanie dotychczas analizowało związek między MAT a siłą oraz mocą mięśniową u koszykarzy (Scanlan i in. 2021). Badanie przeprowadzone przez Scanlan i in. (2021) wykazało, że czas uzyskany w MAT w dużej mierze opiera się na kilku wskaźnikach mocy i siły mięśniowej kończyn dolnych, takich jak odległość skoku w dal z miejsca, względna maksymalna siła generowana w warunkach izometrycznych uzyskana podczas martwego ciągu z wysokości uda oraz względna maksymalna siła uzyskana podczas CMJ i czas sprintu na dystansie 10 m. Ponadto, należy podkreślić, że wspomniane badanie uwzględniało próby testu MAT inicjowane wyłącznie przez kończynę dominującą (Scanlan i in. 2021). Dlatego nie wiadomo, czy strona, w którą rozpoczynany jest MAT może stanowić czynnik modyfikujący występowanie i poziom korelacji. Odległość pokonywana przez każdą kończynę dolną jako kończynę odstawną i dostawną pozostaje taka sama, niezależnie od tego, w którą stronę wykonywany jest pierwszy zwrot, a zmiany kierunku są wykonywane na przemian między obiema kończynami. Jednakże, strona zwrotu determinuje, która kończyna dwukrotnie będzie kończyną odstawną (podczas pierwszego zwrotu o kącie 90° i trzeciego zwrotu o kącie 180°). Czwarty zwrot wiąże się z wyhamowaniem i zmianą kierunku ruchu do tyłu. Dodatkowo, mimo że połowa odległości testu MAT jest pokonywana krokiem odstawno-dostawnym to brakuje badań dotyczących zależności uzyskiwanego czasu a siłą mięśni odwodzących i przywodzących kończynę dolną. W związku z powyższym sformułowanie deterministycznych modeli testów COD pomogłoby zidentyfikować najważniejsze zmienne powiązane z uzyskiwanym w nich czasem, a następnie zoptymalizować proces treningowy, w tym wybór ćwiczeń.

Specyficzność treningu jest kluczowym elementem w planowaniu programu treningowego dla optymalnego transferu adaptacji fizjologicznej na poprawę wyniku sportowego. Ćwiczenia bilateralne są fundamentalnym elementem treningów skoncentrowanych na budowaniu maksymalnej siły mięśniowej. Z drugiej strony, ćwiczenia

unilateralne wydają się lepiej odzwierciedlać ruchy takie jak bieganie czy zmiana kierunku, ponieważ są one wykonywane głównie unilateralnie. W związku z tym, wyselekcjonowanie odpowiednich ćwiczeń ma kluczowy wpływ na efektywność stosowanych metod treningowych. Ma to również szczególne znaczenie na przykład podczas programowania procesu treningowego z wykorzystaniem metody treningu kompleksowego (Kalinowski i in. 2022). Wspomniana metoda treningowa opiera się na wywoływaniu efektu poaktywacyjnego wzrostu sprawności fizycznej (ang. post-activation performance enhancement - PAPE) (Seitz i Haff 2016; Krzysztofik i in. 2021). Efekt PAPE odnosi się do wykonania ćwiczenia aktywacyjnego o wysokiej intensywności i niskiej objętości, które przyczynia się do zwiększenia sprawności fizycznej w następnie wykonywanym zadaniu ruchowym (Gołaś i in. 2016; Blazevich i Babault 2019; Krzysztofik i in. 2020). W praktyce treningowej oraz w badaniach naukowych, najczęściej stosuje się ćwiczenie oporowe z obciążeniem przekraczającym 80%1RM przed zadaniem eksplozywnym o podobnym wzorcu ruchowym (Seitz i Haff 2016). Na przykład przysiad ze sztangą wykonywany przed skokiem pionowym. Ponieważ liczne badania potwierdziły skuteczność PAPE w krótkotrwałej poprawie sprawności fizycznej (Chen i in. 2017; Tsoukos i in. 2019; Timon i in. 2019; Krzysztofik i Wilk 2020; Ciocca i in. 2021) to powszechne stało się stosowanie wspomnianych kompleksów podczas treningów oraz jako część rozgrzewki przed rywalizacją sportową (O'Grady i in. 2021; Finlay i in. 2022). Jak wspomniano wcześniej, wybrane pary ćwiczeń PAPE powinny charakteryzować się zbliżonymi wzorcami ruchowymi. Wynika to z faktu, że istnieje duże prawdopodobieństwo, że efekt PAPE występuje głównie lokalnie (Seitz i Haff 2016; Cuenca-Fernández i in. 2017; Wong i in. 2020). W związku z tym, na przykład wykonanie przysiadu ze sztangą może poprawić wynik skoku pionowego, ale efekt może nie być tak istotny w skoku w dal. Niemniej jednak wymagania, zarówno podczas treningu, jak i zawodów sportowych, obejmują realizację złożonych zadań ruchowych, często w różnych kierunkach, takich jak bieganie ze zmianą kierunku. Wśród wielu metodologii treningowych ukierunkowanych na kształtowanie siły i mocy mięśniowej trening kompleksowy staje się coraz bardziej popularny (Freitas i in. 2017; Soriano i in. 2017). Biorąc jednak pod uwagę, że test MAT obejmuje różne sposoby poruszania się, nie jest jasne, jakie ćwiczenia należy wykorzystać jako aktywację w treningu kompleksowym. Ponieważ bieganie stanowi naprzemienne jednostronne ruchy to wydaje się, że ćwiczenia unilateralne mogą być w tym przypadku skuteczniejsze niż bilateralne jako ćwiczenie aktywacyjne (Krzysztofik i in. 2023). Dodatkowo, podczas testu MAT połowa dystansu jest pokonywana poprzez krok odstawno-dostawny. Z tego powodu ćwiczenia uwzględniające ruchy lateralne mogą być również pożądane. W związku z tym, połączenie

ćwiczeń unilateralnych o wysokiej intensywności angażujących prostowniki stawu kolanowego oraz mięśnie odwodzące kończynę dolną może odzwierciedlać test MAT i stanowić skuteczną kombinację aktywacyjną do implementacji w treningu kompleksowym. Niemniej, konieczne jest wcześniejsze ustalenie związku między czasem uzyskiwanym w teście MAT a siłą i mocą kończyn dolnych, a następnie empiryczne potwierdzenie skuteczności w treningu.

Biorąc pod uwagę, że wiele dyscyplin sportowych charakteryzuje się dynamicznymi, jednostronnymi czynnościami ruchowymi, takimi jak skoki czy zmiany kierunku to warunki te mogą prowadzić do rozwinięcia asymetrycznych adaptacji nerwowomięśniowych kończyn dolnych (Hewit i in. 2012; Menzel i in. 2013). Znacząca asymetria siły czy mocy kończyn dolnych może stanowić istotny czynnik ryzyka urazów oraz może wpływać na obniżenie sprawności fizycznej (Hewit i in. 2012; Impellizzeri i in. 2007; McElveen in. 2010; Newton i in. 2006). Na przykład, Maloney i in. (2016), Bishop i in. (2021) oraz Michailidis i in. (2020) wykazali, że asymetria między kończynami dolnymi mierzona poprzez wysokość skoku pionowego unilateralnie jest pozytywnie powiązana z czasem sprintu na dystansie 20m. Jednak Maloney i in. (2016) badali grupę zdrowych, ale niewytrenowanych mężczyzn, podczas gdy Bishop i in. (2021) oraz Michailidis i in. (2020) przeprowadzili badania na grupie piłkarzy nożnych w wieku od 10 do 15 lat. Z kolei Lockie i in. (2014) stwierdzili, że asymetria dolnych kończyn nie wpływa na czas testu 505 (180° COD) u zawodników gier zespołowych. Autorzy sugerowali, że wartość asymetrii międzykończynowej zbliżona do 10% w wysokości skoku pionowego wykonywanego unilateralnie nie powinna mieć wpływu na czas sprintu (Lockie i in. 2014). Mając na uwadze, że kąty zmiany w poszczególnych testach COD mogą decydować o zależnościach, należy ustalić, czy istnieje powiązanie między asymetrią w poziomie mocy kończyn dolnych, a czasem w testach COD o innych kątach zmiany.

4. Przedmiot rozprawy

4.1 Cel badań, pytania badawcze, hipoteza

Celem cyklu badań było ustalenie zależności między wybranymi testami COD tj. „L”, „ZigZag” oraz MAT, a wybranymi wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych oraz czasem sprintu. Następnie, po weryfikacji zmiennych korelujących z czasem uzyskiwanym w teście MAT, celem stało się określenie skuteczności połączenia ćwiczeń jako kompleksu aktywacyjnego do wywołania efektu poaktywacyjnego wzmocnienia sprawności fizycznej, ocenianego na podstawie czasu uzyskiwanego w teście MAT.

Pytania badawcze zawarte w cyklu publikacji:

Badanie 1:

1. Czy i jak względna moc szczytowa uzyskana podczas LP lub/i czas sprintu na dystansie 5 oraz 20 m będzie skorelowana z czasem w testach „L” oraz „ZigZag”?
2. Czy i jak asymetria między kończynami dolnymi w poziomie uzyskanej względnej mocy szczytowej podczas LP lub/i czas sprintu na dystansie 5 oraz 20 m będzie skorelowana z czasem w testach „L” oraz „ZigZag”?

Badanie 2:

1. Czy kierunek, w którym rozpoczynany jest test MAT ma wpływ na występujące korelacje między badanymi zmiennymi?
2. Czy i jak następujące zmienne: wysokość, maksymalna prędkość, poziom względnej mocy maksymalnej podczas skoku pionowego oraz wysokość, czas kontaktu, wskaźnik siły reaktywnej, poziom względnej mocy maksymalnej podczas skoku pionowego po zeskoku w głąb, czas sprintu na dystansie 5 oraz 20m i poziom generowanej mocy podczas LP będą skorelowane z czasem testu MAT rozpoczynanego w dominującą lub niedominującą stronę?
3. Czy i jak siła uzyskana w warunkach maksymalnego dobrowolnego skurczu izometrycznego podczas odwodzenia i/lub przywodzenia kończyn dolnych będzie skorelowana z czasem testu MAT rozpoczynanego w lewą lub prawą stronę?

Badanie 3:

1. Jak kompleks aktywacyjny składający się z przysiadów o wysokiej intensywności i skoków po zeskoku w głąb wpłynie na czas testu MAT?
2. Czy sposób wykonania kompleksu aktywacyjnego (unilateralnie vs. bilateralnie) będzie różnicował wpływ na czas uzyskany w teście MAT?

Hipoteza:

Badanie 1:

1. Moc uzyskana podczas LP będzie ujemnie skorelowana z czasem w testach „L” oraz „ZigZag”.
2. Asymetria w poziomie uzyskanej mocy szczytowej podczas LP będzie pozytywnie skorelowana z czasem w testach „L” oraz „ZigZag”.

Badanie 2:

1. Siła i moc uzyskana podczas LP, poziom względnej mocy uzyskanej podczas CMJ i DJ będzie ujemnie skorelowana z czasem testu MAT.
2. Siła generowana w warunkach izometrycznych podczas testów odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych będzie ujemnie skorelowane z czasem testu MAT.
3. Strona, w którą rozpoczynany jest test MAT będzie różnicowała poziom korelacji między siłą generowaną w warunkach izometrycznych podczas testów odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych, a czasem w teście MAT.

Badanie 3:

1. Kompleks aktywacyjny wykonywany w sposób unilateralny (przysiad w wykroku oraz skok lateralny po zeskoku w głąb) w istotny i natychmiastowy sposób przyczyni się do skrócenia czasu w teście MAT.
2. Sposób wykonania kompleksu aktywacyjnego (unilateralnie vs. bilateralnie) będzie miał istotny wpływ na czas uzyskany w teście MAT.

4.2 Osiągnięcia naukowe

Przedmiotem rozprawy jest osiągnięcie naukowe przedstawione w postaci trzech tematycznych prac opublikowanych w czasopiśmie z listy JCR. Łączna wartość punktowa prac wynosi **IF= 5.9; MEiN= 270**.

Prace zostały przedstawione pod wspólnym tematem: **"Zależność między siłą i mocą kończyn dolnych a efektywnością zmiany kierunku biegu u zawodników zespołowych gier sportowych"**

Wykaz opublikowanych prac:

1. **Monika Papla**, Agata Latocha, Wojciech Grzyb, Artur Gołaś. „*Relationship between lower limb power output, sprint and change of direction performance in soccer players.*” *Baltic Journal of Health and Physical Activity* 2022;14(3):Article3. <https://doi.org/10.29359/BJHPA.14.3.03>

[MEiN: 70]

2. **Monika Papla**, Dawid Perenc, Adam Zając, Adam Maszczyk, Michał Krzysztofik. „*Contribution of Strength, Speed and Power Characteristics to Change of Direction Performance in Male Basketball Players*”. *Applied Sciences* 2022, 12, 8484. <https://doi.org/10.3390/app12178484>

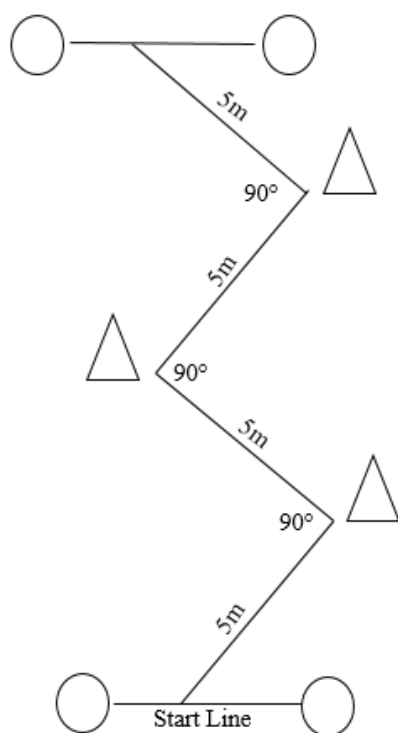
[IF: 2.7 MEiN: 100]

3. **Monika Papla**, Paulina Ewertowska, Michał Krzysztofik. „*Acute Effects of Complex Conditioning Activities on Athletic Performance and Achilles Tendon Stiffness in Male Basketball Players*”. *Journal of Sports Science and Medicine* (22), 281 - 287. <https://doi.org/10.52082/jssm.2023.281>

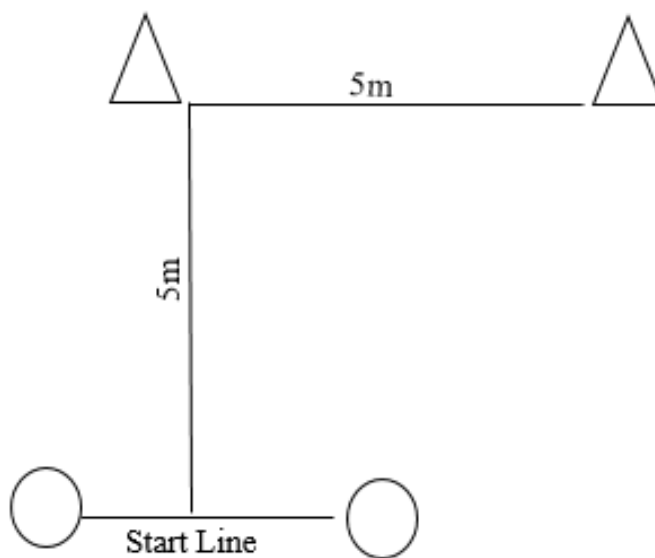
[IF: 3.2 MEiN: 100]

5. Materiał i metody badawcze

W pierwszym badaniu udział wzięło 24 zawodowych piłkarzy pierwszoligowego zespołu (wiek = $24,8 \pm 8,2$ lata, masa ciała = $77,4 \pm 16,9$ kg, wysokość ciała = $179,5 \pm 14,5$ cm, doświadczenie treningowe w piłce nożnej = $10 \pm 1,5$ lat). Testy przeprowadzono podczas przerwy zimowej sezonu rozgrywkowego w celu wyeliminowania dodatkowych czynników, a kryteria włączenia obejmowały: a) doświadczenie treningowe powyżej 8 lat, b) regularny udział w rywalizacji sportowej na poziomie krajowym, c) brak urazu w okresie 6 miesięcy poprzedzających badania. Badanie składało się z dwóch sesji eksperymentalnych, które odbywały się o tej samej porze dnia i były poprzedzone jednakowym protokołem rozgrzewki. Podczas pierwszej sesji eksperymentalnej wszyscy uczestnicy wykonali testy biegowe tj. sprint na dystansie 5 i 20 m, a także test „ZigZag” oraz „L”. Testy te były przeprowadzane na hali ze sztuczną nawierzchnią. Czasy biegów były rejestrowane przez zestawy fotokomórek Witty Gate (Microgate, Bolzano, Włochy) o precyzji pomiaru 0,01 s. W przypadku biegów po linii prostej, fotokomórki były ustawione na linii startowej, 5 i 20 m, natomiast podczas testów COD jak zaprezentowano na Ryc. 1 i 2. Po rozgrzewce uczestnicy wykonali dwie próby sprintu na dystansie 20 m. Następnie po 5 minutowej przerwie wypoczynkowej przystąpili do testów COD. Każdy uczestnik w losowej kolejności wykonał dwa testy COD na dystansie 20 m o kącie zmiany wynoszącym 90° : „ZigZag” oraz test „L”. Zadaniem uczestnika było pokonanie odcinka z obiegnięciem wyznaczonych pachołków w teście „ZigZag” i dotknięciem pachołków w teście „L”, zmieniając kierunek biegu. Każdy test biegowy został wykonany dwa razy z 3-minutową przerwą między próbami. Podczas każdej próby uczestnicy zostali poinformowani o wykonaniu jej tak szybko, jak to możliwe. Najlepszy czas z każdego testu został zachowany do dalszej analizy. Podczas każdej próby uczestnicy startowali, gdy byli gotowi, aby wyeliminować wpływ czasu reakcji.



Rycina 1. Graficzna prezentacja testu „ZigZag”.



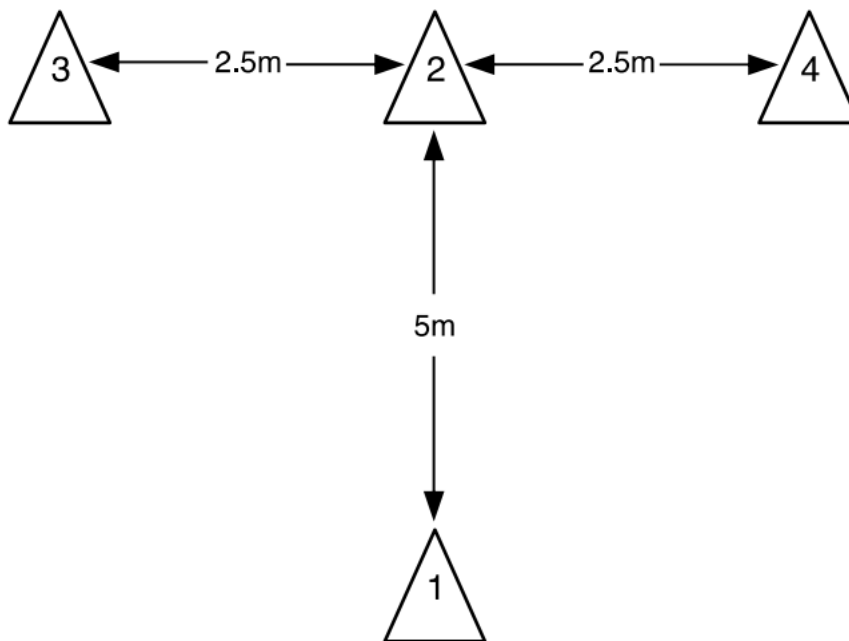
Rycina 2. Graficzna prezentacja testu „L”.

Podczas drugiej sesji eksperymentalnej dokonano oceny względnej szczytowej mocy podczas LP wykonywanego z zastosowaniem trenera Keiser Air420 (Keiser Corporation, Fresno, CA, USA). Po wykonaniu jednakowej rozgrzewki jak podczas pierwszej sesji eksperymentalnej każdy uczestnik wykonał dwa powtórzenia LP bilateralnie, a następnie każdą kończyną z osobna. Ćwiczenie polegało na wypychaniu platform trenera z pozycji siedzącej, rozpoczynając ze stawami kolanowymi zgiętymi pod kątem 90°, aż do pełnego wyprost. Uczestnicy zostali poinformowani o wykonaniu wyprost stawu kolanowego tak szybko, jak to możliwe. Pomiędzy próbami przeprowadzano 3 min. przerwy, a do dalszej analizy zachowano najlepsze wyniki. Ocenie poddano względną moc szczytową [W/kg m.c.]. Obciążenie zewnętrzne wynosiło 120% masy ciała badanych. Do obliczenia asymetrii w poziomie względnej szczytowej mocy podczas LP wykorzystano wskaźnik LSI (ang. limb symmetry index) uzyskany po zastosowaniu następującego wzoru (Bishop i in. 2016):

$$LSI(\%) = \left(2 * \frac{(prawa\ noga - lewa\ noga)}{prawa\ noga + lewa\ noga} \right) * 100.$$

W drugim badaniu udział wzięło 19 koszykarzy drugoligowego zespołu (wiek = 22,7 ± 3,4 lata, masa ciała = 86,5 ± 5,7 kg, wysokość ciała = 192,6 ± 4,8 cm, doświadczenie treningowe w koszykówce = 5,8 ± 2,3 lat). Testy przeprowadzono na początku sezonu, a kryteria włączenia obejmowały: a) doświadczenie treningowe powyżej 5 lat, b) regularny udział w rywalizacji sportowej na poziomie krajowym, c) brak zaburzeń nerwowomięśniowych i układu mięśniowo-szkieletowego w okresie 6 miesięcy poprzedzających badania. Badanie składało się z dwóch sesji eksperymentalnych, które odbywały się o tej samej porze dnia i były poprzedzone jednakowym protokołem rozgrzewki. Podczas pierwszej sesji eksperymentalnej wszyscy uczestnicy wykonali testy biegowe tj. sprint na dystansie 5 i 20 m, a także test MAT (Ryc. 3). Czasy biegów były rejestrowane przez zestawy fotokomórek Witty Gate (Microgate, Bolzano, Włochy). W przypadku biegów po linii prostej, fotokomórki były ustawione na linii startowej, 5 i 20 m, natomiast podczas testu MAT wyłącznie na linii startowej. Po rozgrzewce uczestnicy wykonali dwie próby sprintu na dystansie 20 m. Następnie po 5 minutowej przerwie wypoczynkowej przystąpili do testu MAT. Zadaniem uczestnika było pokonanie 20 m odcinka z wyznaczonymi pachołkami, zmieniając kierunek biegu tj. 5 m biegu w przód, dotykając górnej części środkowego pachołka, następnie krokiem odstawno-dostawnym przesuwali się o 2,5 m w lewo lub w prawo, w zależności od próby, aby dotknąć kolejnego pachołka. Następnie, ponownie krokiem odstawno-dostawnym przesuwali się 5 m w przeciwnym kierunku, dotykali pachołka, przesuwali się o 2,5 m z powrotem do środkowego znacznika,

a następnie biegiem w tył przez bramki pomiarowe do linii końcowej. Przeprowadzono cztery próby, z dwiema rozpoczętymi zwrotami na lewą stronę i dwiema na prawą stronę. Każdy test biegowy został wykonany dwa razy z 3-minutową przerwą między próbami. Podczas każdej próby uczestnicy zostali poinformowani o wykonaniu zadania tak szybko, jak to możliwe. Najlepszy czas z każdego testu został zachowany do dalszej analizy. Podczas każdej próby uczestnicy startowali, gdy byli gotowi, aby wyeliminować wpływ czasu reakcji.



Rycina 3. Graficzna prezentacja testu MAT.

Podczas drugiej sesji eksperymentalnej dokonano pomiaru wybranych zmiennych kinematycznych podczas CMJ i DJ, względnej mocy szczytowej podczas LP oraz siły generowanej w warunkach izometrycznych testów odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych. Pomiary skoków zostały wykonane za pomocą platformy dynamometrycznej (Force Decks, Vald Performance, Albion, Australia; częstotliwość próbkowania 1000Hz). CMJ był rozpoczynany z pozycji stojącej z wyprostowanymi stawami kolanowymi i tułowiem, stopami ustawionymi na szerokość obręczy barkowej oraz dłońmi na biodrach. Następnie, uczestnicy zostali poproszeni o wykonanie przysiadu do poziomu wybranego przez siebie i natychmiastowego wykonania maksymalnego skoku pionowego. Po każdym skoku zawodnik wracał do pozycji wyjściowej, a procedurę powtarzano dwukrotnie. Oceniano następujące

zmienne: wysokość skoku [cm], szczytową prędkość [m/s], oraz względną szczytową moc [W/kg m.c.]. DJ był wykonywany ze skrzyni o wysokości 60 cm. Uczestnicy zostali poinstruowani, aby zainicjować skok swobodnym opadem (a nie wyskokiem) ze skrzyni rozpoczynając jedną kończyną, a następnie "wyskoczyć jak najszybciej i jak najwyżej po kontakcie z podłożem". Oceniano następujące zmienne: czas kontaktu (s), wysokość skoku (cm), wskaźnik siły reaktywnej (z ang. reactive strength index – RSI), oraz względną szczytową moc (W/kg m.c.). Skoki były uznawane za nieprawidłowe, jeśli zawodnik ugiął kończyny dolne podczas lotu, lądował poza platformą lub wyskakiwał ze skrzyni w przypadku DJ. Do dalszej analizy wykorzystano najlepsze skoki pod względem wysokości spośród wykonanych prób. Ocenę siły w warunkach izometrycznych podczas odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych wykonano za pomocą systemu dynamometrów GroinBar Hip Strength Testing System (Vald Performance, Albion, Australia; częstotliwość próbkowania 50Hz). Próba była przeprowadzana w pozycji leżąc tyłem, z indywidualnie dopasowaną wysokością czujnika dynamometru, aby zapewnić zgięcie stawu kolanowego i biodrowego równego 45° . Podczas testu przywodzenia kłykcie przyśrodkowe kości udowej przylegały do czujnika, natomiast podczas odwodzenia kłykcie boczne kości udowej. Przeprowadzono dwie maksymalne wolicjonalne próby z 3-minutowymi przerwami, a uczestnicy zostali poinstruowani, aby przez 5 s naciskać na czujniki urządzenia maksymalnie i jak najszybciej. Próba, w której uzyskano najwyższą wartość siły została zachowana do dalszej analizy. Do oceny szczytowej mocy podczas LP ponownie wykorzystano trener Keiser Air420 (Keiser Corporation, Fresno, CA, USA). Obciążenie zewnętrzne wynosiło $60\%1RM$, a przebieg testu był jednakowy jak podczas Badania 1.

W badaniu trzecim wzięły udział dwa zespoły koszykówki, 26 koszykarzy, którzy zostali losowo i równo przydzieleni do jednej z dwóch różnych grup eksperymentalnych: i) wykonującej bilateralny kompleks aktywacyjny (B-CA) (wiek: 24 ± 6 lat, masa ciała: 87 ± 11 kg, wzrost: 191 ± 8 cm, doświadczenie w treningu koszykarskim: 15 ± 5 lat) lub ii) unilateralny kompleks aktywacyjny (U-CA) (wiek: $25,5 \pm 8,6$ lat, masa ciała: $89,2 \pm 12,7$ kg, wzrost: 197 ± 17 cm, doświadczenie w treningu koszykarskim: $12 \pm 6,5$ lat). Wszyscy zawodnicy w tym badaniu mieli dominującą lewą kończynę jako preferowaną kończynę odbicia podczas dwutaktu. Kryteria włączenia obejmowały: i) brak zaburzeń nerwowomięśniowych i układu mięśniowo-szkieletowego, ii) regularny udział w rywalizacji sportowej na poziomie krajowym, iii) doświadczenie treningowe powyżej 5 lat. Badania zostały przeprowadzone w przerwie międzysezonowej. Ze względu na wyniki drugiego badania, które wskazało istotne ujemne

korelacje między uzyskaną siłą LP oraz siłą generowaną w warunkach izometrycznych podczas testów przywodzenia i odwodzenia kończyn dolnych, a czasem w teście MAT to w trzecim badaniu, w celu zapewnienia większej trafności ekologicznej, zdecydowano się zastosować przysiady ze sztangą zamiast LP. Decyzja ta wynikała z podobnej aktywności mięśniowej prostowników stawu kolanowego między tymi ćwiczeniami (Sjöberg i in. 2021). Dodatkowo, zastosowano skoki lateralne po zeskoku w głąb, w celu zaangażowania mięśni odwodzących kończynę dolną, podobnie jak podczas kroku odstawno-dostawnego (Lewis i in. 2018). W związku z tym, grupa B-CA wykonywała 2 serie po 4 powtórzenia przysiadów ze sztangą z obciążeniem wynoszącym 80% 1RM, a następnie 10 DJ, podczas gdy grupa U-CA wykonywała 2 serie po 2 powtórzenia przysiadów w wykroku jednonóż ze sztangą z obciążeniem wynoszącym 80% 1RM, a następnie 5 skoków lateralnych po zeskoku w głąb na każdą kończynę. Między seriami zastosowano 3 min przerwę wypoczynkową, podczas gdy w obrębie kompleksu aktywacyjnego nie było przerw. Pięć minut przed i 6 minut po wykonaniu kompleksów aktywacyjnych wykonano pomiary zmiennych kinematycznych podczas CMJ oraz czasu testu MAT. Ten czas przerwy wypoczynkowej został wybrany, ponieważ największy efekt PAPE odnotowywany jest zazwyczaj w okresie 5-7 minut po ćwiczeniu aktywacyjnym (Wilson i in. 2013; Seitz i Haff 2016).

5.1. Metody analizy statystycznej

W badaniu drugim i trzecim przed rozpoczęciem realizacji dokonano oszacowania minimalnej liczebności próby. W badaniu drugim do analizy przyjęto następujące parametry testu statystycznego: korelacja dwuwymiarowa, moc statystyczna przyjęta na poziomie 0,8, poziom istotności 0,05, a siła korelacji w zakresie 0,53-0,67 na podstawie wcześniejszego badania, w którym analizowano determinanty czasu w teście MAT (Scanlan i in. 2021). W oparciu o powyższe założenia ustalono, że wymagana liczebność próby mieści się w przedziale od 15 do 25 osób. Z kolei w trzecim badaniu do analizy przyjęto następujące parametry testu statystycznego: ANOVA dla powtarzanych pomiarów, w schemacie wewnątrz i między czynnikowym (dwie grupy uczestników, dwa punkty pomiarów), moc statystyczna przyjęta na poziomie 0,8, poziom istotności 0,05, wielkość efektu 0,29-0,46 na podstawie metaanalizy dotyczącej wpływu efektu poaktywacyjnego wzmocnienia aktywacyjnego na sprawność fizyczną (Seitz i Haff, 2016). Powyższe analizy zostały przeprowadzone przy użyciu oprogramowania G*Power w wersji 3.1.9.2 (Dusseldorf, Niemcy).

We wszystkich badaniach przedstawionych w cyklu dane zostały przedstawione jako średnie z odchyleniami standardowymi (\pm SD) oraz 95% przedziałami ufności (95%CI). Istotność statystyczną ustalono na poziomie $p < 0,05$. W każdym przypadku dokonano weryfikacji normalności rozkładu badanych zmiennych za pomocą testu Shapiro-Wilka, a w badaniu trzecim przeprowadzono również testy Levene'a i Mauchly'ego w celu sprawdzenia homogeniczności i sferyczności analizowanych danych. W badaniu pierwszym do ustalenia zależności między czasem uzyskanym w badanych testach biegowych, a uzyskanym poziomem mocy w LP wykorzystano współczynnik korelacji Pearson'a. W badaniu drugim do określenia związku między wszystkimi zmiennymi mierzonymi podczas prób siły i mocy kończyn dolnych zastosowano współczynnik korelacji rang Spearmana. W obu badaniach korelacje były oceniane następująco: trywialna (0,0–0,09), niewielka (0,10–0,29), umiarkowana (0,30–0,49), duża (0,50–0,69), bardzo duża (0,70–0,89), niemal doskonała (0,90–0,99) oraz doskonała (1,0) (Hopkins i in. 2009). Następnie w badaniu drugim zastosowano metodę regresji krokowej w procedurze selekcji progresywnej. W analizach regresji jako zmienne niezależne (predyktory) ustalono: siłę w warunkach izometrycznych rozwijaną podczas testów odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych, szczytową moc w LP, parametry kinematyczne w CMJ i DJ oraz czas sprintu, natomiast czas w teście MAT został uznany za zmienną zależną. Do oceny dokładności dopasowania modelu do analizowanych danych posłużono się współczynnikiem determinacji (R^2). W badaniu trzecim do oceny wpływu kompleksów aktywacyjnych na czas w teście MAT zastosowano dwuczynnikową analizę wariacji z powtarzanymi pomiarami ($2 \times$ [grupa B-CA vs. U-CA] \times 2 punkty czasowe [przed- vs. po-kompleksach aktywacyjnych]). Gdy stwierdzono istotną interakcję lub efekt główny, zastosowano testy post-hoc z korektą Bonferroniego do analizy porównań parami. Wielkość efektu dla średnich została wyrażona za pomocą standaryzowanych wskaźników efektu Hedges g , które zostały zinterpretowane jako $\leq 0,20$ "mały", 0,21-0,79 "średni", a $> 0,80$ jako "duży" (Cohen 2013). Wszystkie analizy statystyczne zostały przeprowadzone za pomocą programu SPSS (wersja 25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA).

6. Wyniki badań

W badaniu pierwszym współczynnik korelacji Pearsona nie wykazał żadnych istotnych statystycznie korelacji między poziomem uzyskanej mocy podczas LP i wskaźnikiem LSI a czasem uzyskanym w sprincie na dystansie 5 i 20m oraz w testach „L” oraz „ZigZag”. W badaniu drugim wykazano istotne ujemne korelacje między czasem uzyskanym w teście MAT inicjowanym w lewą stronę, a wysokością CMJ ($r = -0.686$; $p < 0.01$), wysokością DJ ($r = -0.544$; $p < 0.01$), siłą w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia ($r = -0.563$; $p < 0.01$) i odwodzenia ($r = -0.481$; $p < 0.05$) lewej kończyny dolnej, siłą generowaną w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia prawej kończyny dolnej ($r = -0.481$; $p < 0.05$) oraz mocą szczytową uzyskaną przez lewą ($r = -0.716$; $p < 0.01$) i prawą kończynę dolną ($r = -0.636$; $p < 0.01$) podczas LP. Z kolei między czasem w teście MAT inicjowanym w prawą stronę wykazano istotne ujemne korelacje z wysokością CMJ ($r = -0.455$; $p < 0.05$), siłą w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia ($r = -0.575$; $p < 0.01$) i odwodzenia ($r = -0.84$; $p < 0.05$) lewą kończynę dolną, siłą generowaną w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia ($r = -0.583$; $p < 0.01$) i odwodzenia ($r = -0.768$; $p < 0.01$) prawej kończyny dolnej oraz mocą szczytową uzyskaną przez lewą ($r = -0.659$; $p < 0.01$) i prawą kończynę dolną ($r = -0.588$; $p < 0.01$) podczas LP. Analiza regresji wykazała, że model uwzględniający poziom mocy szczytowej lewej kończyny dolnej podczas LP, siły generowanej w warunkach izometrycznych uzyskanej podczas przywodzenia lewej kończyny dolnej, wysokość CMJ jest w stanie w 93% wyjaśnić czas uzyskany w teście MAT inicjowany w lewą stronę. Wspomniany model regresji przyjął następujący wzór:

$$Y_{MAT\ LEFT} = 7,927 - 0,001 \times Leg\ Press_{LEFT} - 0,002 \times AD_{LEFT} - 0,028 \times CMJ_{JH}$$

Oznacza to, że w wyniku wzrostu szczytowej mocy uzyskanej przez lewą kończynę dolną podczas LP ($Leg\ Press_{LEFT}$) o jednostkę [W], czas MAT inicjowany w lewą stronę zmniejszy się o 0,001 s. Podobnie, jeśli siła generowana w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia lewej kończyny dolnej (AD_{LEFT}) lub wysokość CMJ (CMJ_{JH}) zwiększy się, to czas MAT inicjowany w lewą stronę ($Y_{MAT\ LEFT}$) poprawi się odpowiednio o 0,002 s lub 0,028 s.

Z kolei, model składający się z siły generowanej w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia i odwodzenia lewej kończyny dolnej może w 83% wyjaśnić czas uzyskany w teście MAT inicjowany w prawą stronę. Model ten przyjął poniższy wzór:

$$Y_{MAT\ RIGHT} = 8,86 - 0,002 \times AB_{LEFT} - 0,001 \times AD_{LEFT}$$

Zakłada to, że jeśli siła generowana w warunkach izometrycznych podczas odwodzenia (AB_{LEFT}) lub przywodzenia (AD_{LEFT}) lewej kończyny dolnej wzrośnie o jednostkę [N], to czas MAT inicjowany w prawą stronę ($Y_{MAT\ RIGHT}$) zmniejszy się odpowiednio o 0,002 s lub 0,001 s.

Przeprowadzone analizy w trakcie trzeciego badania nie wykazały istotnego statystycznie wpływu wybranych kompleksów aktywacyjnych na czas testu MAT, niezależnie od kierunku jego inicjacji.

7. Dyskusja

Celem cyklu badań było przeanalizowanie związku między czasem uzyskiwanym w testach "L", "ZigZag" oraz MAT, a wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych oraz czasem sprintu u zawodników gier zespołowych. Kolejnym krokiem, po ustaleniu zmiennych korelujących, było określenie skuteczności połączenia ćwiczeń jako kompleksu aktywacyjnego w celu wywołania efektu poaktywacyjnego wzrostu sprawności fizycznej, ocenianego na podstawie zmian w czasie osiągniętym w teście MAT. Najważniejszym osiągnięciem przedstawionego cyklu był fakt, że czas uzyskany w teście MAT, ale nie w testach "L" i "ZigZag", jest istotnie powiązany z wybranymi wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych. Wykazano, że poziom względnej mocy szczytowej uzyskanej podczas LP zarówno przez obie kończyny dolne, jak i każdą z osobna, nie był istotnie skorelowany ani z czasem uzyskiwanym w teście „L”, ani w teście „ZigZag” u piłkarzy nożnych. Ponadto stopień asymetrii międzykończynowej w poziomie względnej mocy szczytowej uzyskanej podczas LP nie miał istotnego związku z czasem uzyskiwanym w wspomnianych testach COD. Z kolei w przypadku testu MAT wykazano, że strona, w którą test ten jest inicjowany, determinuje stopień i poziom istotności powiązań ze wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych. Ponadto, analiza regresji wykazała, że model uwzględniający poziom mocy szczytowej uzyskanej przez lewą kończynę dolną podczas LP, siłę maksymalną generowaną w warunkach izometrycznego przywodzenia lewej kończyny dolnej oraz wysokość CMJ, jest w stanie w 93% wyjaśnić czas uzyskany w teście MAT inicjowanym w lewą stronę. Dodatkowo, model składający się z siły maksymalnej generowanej w warunkach izometrycznego przywodzenia i odwodzenia lewej kończyny dolnej może w 83% wyjaśnić czas uzyskany w teście MAT inicjowanym w prawą stronę. Natomiast wbrew postawionej hipotezie kompleks aktywacyjny, obejmujący przysiady i DJ o wysokiej intensywności, nie wykazał natychmiastowego wpływu na czas uzyskiwany w kolejnym teście MAT, niezależnie od tego, czy ćwiczenia były wykonywane bilateralnie czy unilateralnie oraz w którą stronę został inicjowany test MAT.

Testy COD mają jedną wspólną cechę - wymagają od zawodnika umiejętności powtarzanego przyspieszania, hamowania oraz ponownego przyspieszania w nowym kierunku. Biorąc pod uwagę, że faza przyspieszania wymaga generowania wysokich wartości siły (Nagahara i in. 2018), można założyć, że jej poziom będzie decydujący dla wyników testów COD. Z drugiej strony, testy różnią się pod względem dystansu, liczby oraz kąta zmiany kierunku, a także sposobu poruszania się. Zgodnie z sugestiami Falch i in. (2019)

oraz Bourgeois (2017), kąty zmiany poniżej 90 stopni zależą od osiągniętej prędkości, natomiast te powyżej 90 stopni są głównie związane z poziomem siły kończyn dolnych (Bourgeois 2017; Falch i in. Ponadto, niektóre testy wymagają nie tylko poruszania się do przodu, ale także w tył lub lateralnie, co skutkuje odmiennymi wymaganiami dotyczącymi utrzymania koordynacji, stabilizacji ciała i obniżania środka ciężkości. W związku z tym nie istnieje uniwersalny test do oceny umiejętności COD, a stopień związku między poszczególnymi wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych może się znacznie różnić w zależności od danego testu. Niemniej badania dotyczące powiązań między wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych a czasem wykonywania testów, o zbliżonych charakterystykach, również przynoszą niejednoznaczne wyniki (Spiteri i in. 2014; Nimphius i in. 2018; Pereira i in. 2018; Loturco i in. 2020).

Na przykład w badaniach przeprowadzonych na światowej klasy graczach piłki ręcznej (kadra olimpijska mężczyzn i kobiet), zaobserwowano istotne, duże ujemne korelacje między prędkością w teście „ZigZag” a wysokością CMJ oraz bardzo duże ze średnimi prędkościami sprintu na dystansie 10 i 20 m (Pereira i in. 2018). Z kolei Loturco i in. (2018) nie odnotowali istotnych związków między średnią mocą w półprzysiadzie, wysokością CMJ, średnimi prędkościami sprintu na dystansie 5 i 10 m, a średnią prędkością w teście „ZigZag” u młodych piłkarzy. Badanie pierwsze przeprowadzone w ramach tego cyklu częściowo potwierdza wyniki uzyskane przez Loturco i in. (2018), ponieważ również nie zaobserwowano statystycznie istotnych korelacji między mocą generowaną przez kończyny dolne podczas LP, zarówno gdy test był wykonywany bilateralnie jak i unilateralnie, a czasem sprintu na 5 i 20 m oraz czasem w teście „L” i „ZigZag”. Natomiast Pereira i in. (2018), w przeciwieństwie do Loturco i in. (2018), wykazał istotne, ujemne korelacje między wysokością CMJ a średnią prędkością w teście „ZigZag”. Te sprzeczne wyniki mogą wynikać ze znacznych różnic między badanymi grupami. Podczas gdy w badaniu Pereira i in. (2018) grupa była mieszana (15 mężczyzn i 23 kobiet) i składała się z reprezentantów piłki ręcznej na igrzyskach olimpijskich w wieku powyżej 20 i 30 lat, to próba w badaniu Loturco i in. (2018) obejmowała tylko młodych elitarnych piłkarzy (n=25) poniżej 20 roku życia (średnia wieku wynosiła 17,6 lat). Natomiast w badaniu pierwszym w ramach tego cyklu udział wzięli (n=24) elitarni piłkarze nożni w średnim wieku 25 lat. Ponadto, poziom sprawności fizycznej wśród uczestników również różnił się. W badaniu Pereira i in. (2018) średnia prędkość podczas testu „ZigZag” wynosiła odpowiednio 3,67 m/s dla mężczyzn i 3,43 m/s dla kobiet, natomiast w badaniu Loturco i in. (2018) uczestnicy mieli niższą średnią prędkość, wynoszącą 3,44 m/s. Z kolei, w badaniu pierwszym tego cyklu średnia prędkość uzyskana podczas testu „ZigZag” wynosiła 3,01 m/s.

Warto również podkreślić, że wspomniane badania uwzględniały testy przeprowadzane w różnych okresach. W badaniu pierwszym tego cyklu był to okres przerwy zimowej, w badaniu Loturco i in. (2018) - okres przedstartowy, a w badaniu Pereira i in. (2018) testy przeprowadzono na obozie treningowym. Dodatkowo, w badaniach Pereira i in. (2018) analizę korelacji przeprowadzono dla całej badanej grupy bez rozróżnienia ze względu na płeć uczestników. Podsumowując, wydaje się, że dyscyplina, płeć, poziom wytrenowania, a także okres treningowy może determinować występowanie i poziom korelacji między czasem oraz prędkością w teście „ZigZag”, a wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych.

Gry zespołowe wymagają od zawodników poruszania się w wielu kierunkach, w tym do przodu, na boki oraz do tyłu, często na ograniczonej przestrzeni (Bloomfield i in. 2007). Specyficzny test, który łączy te różnorodne sposoby poruszania się, to test MAT (Sassi i in. 2009). To sprawia, że ten test COD ma wszechstronne zastosowanie, m.in. w siatkówce, koszykówce oraz piłce ręcznej (Sassi i in. 2009; Spiteri i in. 2014; Pereira i in. 2018; Scanlan i in. 2021). Z drugiej strony oznacza to konieczność przeprowadzenia bardziej szczegółowych badań, oceniających szerokie spektrum wskaźników siły i mocy mięśniowej kończyn dolnych. Z uwagi na to, że w teście MAT połowa dystansu pokonywana jest krokiem odstawno-dostawnym, kluczowe wydaje się ustalenie związku z siłą generowaną przez mięśnie przywodzące i odwodzące kończynę dolną. Niemniej, według najlepszej wiedzy autorki, badania poświęcone korelacją między czasem czy prędkością w MAT, a testami oceniającymi siłę czy moc mięśni przywodzących i odwodzących kończynę dolną, nie były do tej pory przeprowadzone. Co więcej, wyniki badań wykorzystujących powszechnie stosowane testy siły i mocy kończyn dolnych do wyjaśnienia czasu oraz średniej prędkości w teście MAT również nie są jednoznaczne. Na przykład, Pereira i in. (2018) wykazali istotne bardzo duże ujemne korelacje czasu w MAT z wysokością CMJ oraz prędkością w sprincie na dystansie 20 m, natomiast Sassi i in. (2009) nie stwierdzili związku między czasem MAT, czasem sprintu na dystansie 10 m i wysokością CMJ z zamachem ramion u studentów wychowania fizycznego. Ponadto, badania Spiteri i in. (2014) w grupie koszykarek wykazały istotne ujemne powiązania między testem MAT a wynikiem 1RM w przysiadzie ze sztangą oraz siłą generowaną w warunkach izometrycznych uzyskaną w martwym ciągu z wysokości ud, ale nie z mocą uzyskaną w CMJ. Dodatkowo, Scanlan i in. (2021) wykazał istotne powiązania między czasem w MAT a siłą generowaną w warunkach izometrycznych uzyskaną w martwym ciągu z wysokości ud, czasem sprintu na dystansie 10 m, względną siłą w CMJ oraz odległością skoku w dal z miejsca. Jednak nie wykazał istotnego związku z czasem sprintu na dystansie 5 m i

wysokością skoku pionowego po rozbiegu. Natomiast badanie 2 w ramach tego cyklu potwierdziło brak związku z czasem sprintu na dystansie 5 m oraz względną mocą w CMJ. Podobnie jak w badaniu Spiteri i in. (2014), ale z drugiej strony również wykazało istotne, ujemne korelacje z wysokością CMJ, podobnie jak u Pereira i in. (2018), lecz nie u Sassi i in. (2009). Odmienne wyniki wspomnianych badań w stosunku do rezultatów Sassi i in. (2009) wydają się wynikać z faktu różnego poziomu wytrenowania uczestników wspomnianych badań. W badaniu Sassi i in. (2009) udział brali studenci, podczas gdy w pozostałych byli to regularnie trenujący zawodnicy koszykówki czy piłki ręcznej. Podsumowując wyniki powyższych badań, można zauważyć, że wysokość CMJ wydaje się być najczęściej wskazywaną zmienną, która ma związek z czasem uzyskiwanym w teście MAT.

Warto podkreślić, że chociaż połowa dystansu w teście MAT jest pokonywana krokiem odstawno-dostawnym, to według najlepszej wiedzy autorki brakuje badań, które poszukiwałyby związku między czasem testu MAT a siłą lub/i mocą generowaną przez mięśnie odwodzące i przywodzące kończyny dolne. W związku z tym celem badania 2 w ramach tego cyklu było ustalenie, czy istnieje związek między poziomem siły generowanej w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia i odwodzenia kończyny dolnej a czasem uzyskiwanym w teście MAT. Kolejnym aspektem, który wydaje się, że nie był dotąd badany, jest ustalenie czy strona, w którą inicjowany jest test MAT, determinuje związki między uzyskiwanym czasem w tym teście a wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych. Dodatkowo, przeprowadzony przegląd literatury wykazał, że prawdopodobnie nie istnieją badania, w których oceniano związki między czasem MAT a wskaźnikami siły i mocy dla każdej z kończyn dolnych oddzielnie. W przypadku mocy generowanej podczas LP zaobserwowano istotne, ujemne duże i bardzo duże związki z czasem MAT niezależnie od strony, w którą był on inicjowany. Zauważono również bardzo dużą ujemną korelację między siłą generowaną w warunkach izometrycznych mięśni odwodzących obie kończyny dolne a czasem w MAT inicjowanym w prawą stronę. Jednak w przypadku MAT inicjowanego w lewą stronę, siła korelacji była słabsza, tj. umiarkowana do dużej, a w przypadku siły generowanej w warunkach izometrycznych przez mięśnie odwodzące prawą kończynę dolną nie były istotne. Ponadto, modele regresji różniły się również w zależności od strony, w którą inicjowany był pierwszy zwrot. W prawdzie pokonana odległość przez każdą kończynę dolną jako dostawną i odstawną jest taka sama bez względu na to, od której strony wykonuje się pierwszy zwrot, a zmiany kierunku są wykonywane na przemian między kończynami, to podczas zwrotu najpierw w lewo, prawa noga jest dwukrotnie kończyną dostawną (podczas pierwszego o kącie 90°

i trzeciego zwrotu o kącie 180°). Czwarty zwrot polega na wyhamowaniu i przejściu do poruszania się tyłem. Wyniki tego badania wskazują, że podczas MAT inicjowanego najpierw na prawą stronę, siła generowana w warunkach izometrycznych podczas odwodzenia i przywodzenia lewej kończyny dolnej w dużej mierze wyjaśniają czas tego testu. W tej sytuacji, jako że lewa noga była dwukrotnie kończyną dostawną, wydaje się, że jej siła do ponownego przyspieszenia była kluczowa dla czasu MAT. Wyniki te podkreślają pierwszy zwrot jako czynnik różnicujący zależności między wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych a czasem testu MAT. Dodatkowo, należy zauważyć, że wszyscy zawodnicy w tym badaniu mieli dominującą lewą kończynę jako preferowaną kończynę odbicia podczas dwutaktu.

Jednym z rozwiązań treningowych, które pozwalają w natychmiastowy i krótkotrwały, sposób poprawić sprawność fizyczną, jest wykorzystanie efektu PAPE. W praktyce polega to na zastosowaniu ćwiczeń lub kompleksów aktywacyjnych, angażujących grupy mięśni, które są również zaangażowane w kolejno podejmowane zadanie ruchowe. Ponadto, kluczowym czynnikiem moderującym efekt PAPE jest intensywność zastosowanej aktywacji. Rekomendowane jest stosowanie intensywności równej lub przekraczającej 80% 1RM, a w przypadku ćwiczeń plajometrycznych stosowanie dodatkowego obciążenia zewnętrznego lub wykonywania ich z podwyższeń (Seitz i Haff 2016). Biorąc powyższe pod uwagę oraz wyniki drugiego badania, celem kolejnego etapu stało się ustalenie natychmiastowego wpływu kompleksu aktywacyjnego, który znacząco angażuje prostowniki stawu kolanowego oraz mięśnie odwodzące kończynę dolną na czas w teście MAT. Zatem, wspomniany kompleks aktywacyjny obejmował przysiady w wykroku ze sztangą (2 serie po 2 powtórzenia na stronę) oraz skoki lateralne po zeskoku w głąb (2 serie po 5 powtórzeń na stronę). Dodatkowo, jako komparator przyjęto zbliżony kompleks aktywacyjny (2 serie po 4 powtórzenia przysiadów oraz 2 serie po 10 powtórzeń DJ) z tą różnicą, że był on wykonywany bilateralnie. Wbrew przyjętej hipotezie, oba zastosowane kompleksy aktywacyjne nie wykazały natychmiastowego wpływu na czas uzyskiwany w teście MAT. Pomimo że duża liczba dowodów empirycznych potwierdza skuteczność zarówno ćwiczeń oporowych o wysokiej intensywności (Wilson i in. 2013; Esformes i Bampouras 2013; Suchomel i in. 2015; Beato i in. 2019; Krzysztofik i in. 2022; 2023), jak i ćwiczeń plajometrycznych (Turner i in. 2015; Dello Iacono i in. 2017; Krzysztofik i in. 2023) w wywoływaniu efektu PAPE, to zastosowany w badaniu trzecim kompleks był nieskuteczny. Czynniki modyfikujące odpowiedzi PAPE (Seitz i Haff 2016) wydają się dotyczyć głównie równowagi pomiędzy zmęczeniem a wywołanym przez ćwiczenie aktywacyjne pobudzeniem. Dlatego też wydaje się, że wyjaśnienie tych wyników leży

w niekorzystnej proporcji wywołanego zmęczenia i pobudzenia. W literaturze wielokrotnie podkreślano, że zastosowana aktywność aktywacyjna wywołuje pewien poziom pobudzenia i zmęczenia (Seitz i Haff 2016), kiedy zmęczenie zanika, a pobudzenie utrzymuje się na wysokim poziomie, następuje poprawa sprawności fizycznej. Wydaje się zatem, że w obecnym badaniu poziom pobudzenia i zmęczenia był niekorzystny przy obu zastosowanych kompleksach aktywacyjnych. W związku z powyższym wydaje się, że kolejne badania powinny zweryfikować efektywność zastosowania niższej objętości kompleksu aktywacyjnego (np. pojedynczej serii). Z drugiej strony, zastosowane kompleksy aktywacyjne również nie miały negatywnego wpływu na czas MAT. Biorąc pod uwagę ostatnie dowody naukowe, które wskazują, że wykonywanie treningu do momentu niewielkiej utraty prędkości czy generowanej mocy (~10%) (Rodiles-Guerrero i in. 2022; Jukic i in. 2023) przyczynia się do większych przyrostów siły i mocy mięśniowej niż większe spadki (>20%), można założyć, że badane połączenie ćwiczeń (kompleks aktywacyjny i MAT) może być wykorzystywane w ramach treningu kompleksowego. Niemniej wymaga to weryfikacji przez długoterminowe badania.

Odkrycia tego cyklu badań należy rozważyć w kontekście jego ograniczeń. Przede wszystkim, w przypadku poszukiwania powiązań między czasem wybranych testów COD a mocą generowaną podczas ćwiczeń oporowych, skupiono się wyłącznie na jednym ćwiczeniu - czyli LP. Istnieje więc możliwość, że moc generowana podczas innych ćwiczeń oporowych, angażujących inne grupy mięśniowe, silnie zaangażowane podczas sprintu, wykazywałaby istotne zależności z czasem w analizowanych testach, a takimi ćwiczeniami jak wypychanie bioder czy martwy ciąg. Dodatkowo, ograniczono się do pomiaru czasu sprintu jedynie na dystansie 5 i 20 m, podczas gdy wcześniejsze badania (Loturco i in. 2018) wykazały istotne ujemne zależności między czasem w sprincie na 10 m a czasem w badanych testach COD. Ponadto, przeprowadzono ocenę jedynie maksymalnej siły w warunkach izometrycznych, a nie dynamicznych, podczas testów odwodzących i przywodzących kończynę dolną. Analizowano również jedynie powiązania między skokami pionowymi wykonanymi bilateralnie. Dlatego też, przyszłe badania powinny skoncentrować się na poszukiwaniu zależności między skokami horyzontalnymi i lateralnymi, wykonywanymi zarówno bilateralnie, jak i unilateralnie. Należy również zauważyć, że w badaniu trzecim nie zastosowano schematu krzyżowego (ang. crossover study), co zwiększyło ryzyko wpływu czynników osobniczych na wyniki. Dodatkowo, zastosowano tylko jeden określony czas przerwy po wykonaniu kompleksów aktywacyjnych. Nie można więc wykluczyć, że efekt PAPE mógłby wystąpić po zastosowaniu innych czasów przerwy wypoczynkowej. Co więcej,

analizowano efektywność tylko jednej objętości i intensywności (tj. 80%1RM i DJ z 60 cm). W związku z tym, przyszłe badania powinny ocenić zastosowanie innej objętości ćwiczeń oraz indywidualnie dobraną wysokość podwyższenia podczas DJ. Należy również zauważyć, że grupę badanych stanowili wyłącznie dobrze wytrenowani (McKay i in. 2021) zawodnicy piłki nożnej i koszykówki. Fakt ten powoduje, że odkryte zależności powinny być zweryfikowane w grupach zawodników innych dyscyplin sportu lub sportowców o innym poziomie wytrenowania, a także u kobiet.

Rezultaty uzyskane w niniejszym cyklu badań dostarczają szeregu implikacji praktycznych. Trenerzy i zawodnicy nie powinni oczekiwać, że wzrost generowanej mocy podczas LP spowoduje skrócenie czasu uzyskiwanego w testach „ZigZag” czy „L”. Natomiast wieloaspektowe podejście oraz ukierunkowanie treningu na poprawę wskaźników siły i mocy kończyn dolnych takich jak wysokość CMJ, moc podczas LP, siła generowana w warunkach izometrycznych podczas odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych mogą przyczynić się do redukcji czasu w teście MAT.

8. Wnioski

W oparciu o analizę wyników uzyskanych w cyklu badań można sformułować następujące wnioski:

Badanie 1:

1. Względna moc szczytowa osiągnięta podczas testu LP oraz czas sprintu na dystansie 5 i 20 m nie przejawiają istotnego związku z czasem uzyskanym w testach "L" i "ZigZag" u wytrenowanych piłkarzy nożnych.
2. Asymetria międzykończynowa w poziomie względnej mocy szczytowej uzyskanej podczas LP nie koreluje w sposób istotny statystycznie z czasem w testach "L" oraz "ZigZag" wśród wytrenowanych piłkarzy nożnych.

Badanie 2:

1. Strona, w którą inicjowany jest test MAT, determinuje siłę korelacji między uzyskiwanym w tym teście czasem a wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych w grupie wytrenowanych koszykarzy. Czas MAT inicjowany w lewą stronę jest ujemnie skorelowany z wysokością CMJ i DJ oraz poziomem mocy generowanej zarówno przez jedną, jak i drugą kończynę podczas

LP, podobnie jak w przypadku testu MAT inicjowanego w prawą stronę z pominięciem wysokości DJ w grupie wytrenowanych koszykarzy.

2. Czas uzyskany w teście MAT inicjowany zarówno w lewą, jak i prawą stronę jest odwrotnie proporcjonalny do siły generowanej w warunkach izometrycznych podczas testów przywodzenia i odwodzenia kończyn dolnych.

3. Najsilniejszymi predyktorami czasu MAT podczas gdy test był inicjowany w lewą stronę były: wysokość CMJ, poziom siły generowanej w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia lewej kończyny dolnej oraz mocy uzyskanej przez lewą kończynę dolną podczas LP. W badanej grupie model ten wyjaśniał 93% czasu uzyskiwanego w MAT. Z kolei, w przypadku testu MAT inicjowanego w prawą stronę najsilniejszym predyktorem był poziom siły generowanej w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia i odwodzenia lewej kończyny dolnej. W badanej grupie model ten wyjaśniał 83% czasu uzyskiwanego w MAT.

Badanie 3:

1. Zastosowane kompleksy aktywacyjne nie wykazały istotnego statystycznie natychmiastowego wpływu na czas uzyskany w teście MAT.

2. Sposób wykonania ćwiczeń połączonych, jako kompleks aktywacyjny (unilateralnie vs. bilateralnie) nie wpływa na czas uzyskany w teście MAT.

9. Bibliografia

- Beato, Marco, Kevin L. De Keijzer, Zygimantas Leskauskas, William J. Allen, Antonio Dello Iacono, i Stuart A. McErlain-Naylor. 2019. „Effect of Postactivation Potentiation After Medium vs. High Inertia Eccentric Overload Exercise on Standing Long Jump, Countermovement Jump, and Change of Direction Performance”. *Journal of Strength and Conditioning Research* Publish Ahead of Print (czerwiec). <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003214>.
- Ben Abdelkrim, N., S. El Fazaa, J. El Ati, i Z. Tabka. 2007. „Time-Motion Analysis and Physiological Data of Elite under-19-Year-Old Basketball Players during Competition * Commentary”. *British Journal of Sports Medicine* 41 (2): 69–75. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.032318>.
- Bishop, Chris, Richard Clarke, Tomás T. Freitas, Ademir F. S. Arruda, Aristide Guerriero, Maurício S. Ramos, Lucas A. Pereira, i Irineu Loturco. 2020. „Change-of-Direction Deficit vs. Deceleration Deficit: A Comparison of Limb Dominance and Inter-Limb Asymmetry between Forwards and Backs in Elite Male Rugby Union Players”. *Journal of Sports Sciences*, grudzień, 1–8. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1857578>.
- Bishop, Chris, Paul Read, Shyam Chavda, i Anthony Turner. 2016. „Asymmetries of the Lower Limb: The Calculation Conundrum in Strength Training and Conditioning”. *Strength & Conditioning Journal* 38 (6): 27–32. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000264>.
- Bishop, Chris, Paul Read, Jermaine McCubbine, i Anthony Turner. 2021. „Vertical and Horizontal Asymmetries Are Related to Slower Sprinting and Jump Performance in Elite Youth Female Soccer Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 35 (1): 56–63. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002544>.
- Blazevich, Anthony J., i Nicolas Babault. 2019. „Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues”. *Frontiers in Physiology* 10 (listopad): 1359. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359>.
- Bloomfield, Jonathan, Remco Polman, i Peter O’Donoghue. 2007. „Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer”. *Journal of Sports Science & Medicine* 6 (1): 63–70.
- Bourgeois, Francis A. 2017. „Strength, speed-strength and performance in change of direction tasks in rugby union athletes”.
- Brughelli, Matt, John Cronin, Greg Levin, i Anis Chaouachi. 2012. „Understanding Change of Direction Ability in Sport”. *Sports Medicine*, 1045–63. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838120-00007>.
- Buchheit, Martin, Bachar Haydar, i Said Ahmaidi. 2012. „Repeated Sprints with Directional Changes: Do Angles Matter?” *Journal of Sports Sciences* 30 (6): 555–62. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.658079>.
- Chen, Zong-Rong, Shin-Liang Lo, Min-Hsien Wang, Ching-Fang Yu, i Hsien-Te Peng. 2017. „Can Different Complex Training Improve the Individual Phenomenon of Post-Activation Potentiation?” *Journal of Human Kinetics* 56 (1): 167–75. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0034>.
- Ciocca, Gianmarco, Harald Tschan, i Antonio Tessitore. 2021. „Effects of Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) Induced by a Plyometric Protocol on Deceleration Performance”. *Journal of Human Kinetics* 80 (październik): 5–16. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0085>.
- Cohen, Jacob. 2013. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*.

- Collins, Kyle S., Jared W. Coburn, Andrew J. Galpin, i Robert G. Lockie. 2018. „Relationships and Reliability Between a Drive Block Test and Traditional Football Performance Tests in High School Offensive Line Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research*, grudzień. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002757>.
- Condello, Giancarlo, Carlo Minganti, Corrado Lupo, Cinzia Benvenuti, Daniele Pacini, i Antonio Tessitore. 2013. „Evaluation of Change-of-Direction Movements in Young Rugby Players”. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 8 (1): 52–56. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.1.52>.
- Cuenca-Fernández, Francisco, Ian C. Smith, Matthew J Jordan, Brian R. MacIntosh, Gracia López-Contreras, Raúl Arellano, i Walter Herzog. 2017. „Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: a pilot study”. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, nr 42 (10) (lipiec): 1122–25. <https://doi.org/doi:10.1139/apnm-2017-0217>.
- Dello Iacono, Antonio, Domenico Martone, Mirjana Milic, i Johnny Padulo. 2017. „Vertical- vs. Horizontal-Oriented Drop Jump Training: Chronic Effects on Explosive Performances of Elite Handball Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001555>.
- Drinkwater, Eric J, David B Pyne, i Michael J McKenna. 2008. „Design and Interpretation of Anthropometric and Fitness Testing of Basketball Players”: *Sports Medicine* 38 (7): 565–78. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838070-00004>.
- Dugdale, James H., Calum A. Arthur, Dajo Sanders, i Angus M. Hunter. 2018. „Reliability and validity of field-based fitness tests in youth soccer players”. *European Journal of Sport Science*, grudzień. <https://doi.org/doi.org/10.1080/17461391.2018.1556739>.
- Esformes, Joseph I., i Theodoros M. Bampouras. 2013. „Effect of Back Squat Depth on Lower-Body Postactivation Potentiation”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828d4465>.
- Falch, Hallvard Nygaard, Håvard Guldteig Rædergård, i Roland van den Tillaar. 2019. „Effect of Different Physical Training Forms on Change of Direction Ability: A Systematic Review and Meta-Analysis”. *Sports Medicine - Open* 5 (1): 53. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0223-y>.
- Finlay, Mitchell James, Craig Alan Bridge, Matt Greig, i Richard Michael Page. 2022. „Upper-Body Post-activation Performance Enhancement for Athletic Performance: A Systematic Review with Meta-analysis and Recommendations for Future Research”. *Sports Medicine*, kwiecień, 847–71. <https://doi.org/doi 10.1007/s40279-021-01598-4>.
- Freitas, Tomás T., Alejandro Martinez-Rodriguez, Julio Calleja-González, i Pedro E. Alcaraz. 2017. „Short-term adaptations following Complex Training in team-sports: A meta-analysis”. *PLOS ONE*, czerwiec. <https://doi.org/doi 10.1371/journal.pone.0180223>.
- Gołaś, Artur, Adam Maszczyk, Adam Zajac, Kazimierz Mikołajec, i Petr Stastny. 2016. „Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports”. *Journal of Human Kinetics* 52 (1): 95–106. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0197>.
- Hachana, Younes, Helmi Chaabene, Mohamed A. Nabil, Ahmed Attia, Jamel Moualhi, i Mohamed Elloumi. 2013. „Test-Retest Reliability, Criterion-Related Validity, and Minimal Detectable Change of the Illinois Agility Test in Male Team Sport Athletes”. *Journal of Strength and Conditioning Research*, październik. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182890ac3>.
- Hewitt, Jennifer K., John B. Cronin, i Patria A. Hume. 2012. „Asymmetry in multi-directional jumping tasks”. *Physical Therapy in Sport*, listopad, 238–42. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2011.12.003>.

- Hopkins, William G., Stephen W. Marshall, Alan M. Batterham, i Juri Hanin. 2009. „Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science”. *Medicine and Exercise Science*, nr 41: 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>.
- Impellizzeri, Franco M., Ermanno Rampinini, Nicola A. Maffiuletti, i Samuele M. Marcora. 2007. „A Vertical Jump Force Test for Assessing Bilateral Strength Asymmetry in Athletes”. *Medicine & Science in Sport & Exercise*. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31814fb55c>.
- Jukic, Ivan, Katarina Prnjak, Andrew King, Michael R Mcguigan, i Eric R. Helms. 2023. „Velocity loss is a flawed method for monitoring and prescribing resistance training volume with a free-weight back squat exercise”. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s00421-023-05155-x>.
- Kalinowski, Rafał, Anna Pisz, Dominik Kolinger, Michał Wilk, Petr Stastny, i Michał Krzysztofik. 2022. „Acute effects of combined isometric and plyometric conditioning activities on sports performance and tendon stiffness in female volleyball players”. *Frontiers in Physiology* 13 (październik): 1025839. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1025839>.
- Katsumata, Kenta, i Kazuhiro Aoki. 2021. „Jumping Ability Is Related to Change of Direction Ability in Elite Handball Players”. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 60 (październik): 102575. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2021.102575>.
- Krzysztofik, Michał, i Michał Wilk. 2020. „The Effects of Plyometric Conditioning on Post-Activation Bench Press Performance”. *Journal of Human Kinetics* 74 (1): 99–108. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0017>.
- Krzysztofik, Michał, Michał Wilk, Aleksandra Filip, Piotr Zmijewski, Adam Zajac, i James J. Tufano. 2020. „Can Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) Improve Resistance Training Volume during the Bench Press Exercise?” *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (7): 2554. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072554>.
- Krzysztofik, Michał, Michał Wilk, Petr Stastny, i Artur Golas. 2021. „Post-activation Performance Enhancement in the Bench Press Throw: A Systematic Review and Meta-Analysis”. *Frontiers in Physiology* 11 (styczeń): 598628. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.598628>.
- Krzysztofik, Michał, Michał Spieszny, Robert Trybulski, Michał Wilk, Anna Pisz, Dominik Kolinger, Aleksandra Filip-Stachnik, i Petr Stastny. 2023. „Acute Effects of Isometric Conditioning Activity on the Viscoelastic Properties of Muscles and Sprint and Jumping Performance in Handball Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 37 (7): 1486–94. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004404>.
- Krzysztofik, Michał, Michał Wilk, Anna Pisz, Dominik Kolinger, Athanasios Tsoukos, Piotr Aschenbrenner, Petr Stastny, i Gregory C. Bogdanis. 2022. „Effects of Unilateral Conditioning Activity on Acute Performance Enhancement: A Systematic Review”. *Journal of Sports Science and Medicine*. <https://doi.org/doi.org/10.52082/jssm.2022.625>.
- Lewis, Cara L., Hanna D. Foley, Theresa S. Lee, i Justin W. Berry. 2018. „Hip-Muscle Activity in Men and Women During Resisted Side Stepping With Different Band Positions”. *Journal of Athletic Training*, 1071–81. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-46-16>.
- Lockie, Robert G., Samuel J. Callaghan, Simon P. Berry, Erin R. A. Cooke, Corrin A. Jordan, Tawni M. Luczo, i Matthew D. Jeffriess. 2014. „Relationship Between Unilateral Jumping Ability and Asymmetry on Multidirectional Speed in Team-Sport Athletes”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (12): 3557–66. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000588>.

- Lockie, Robert G., Adrian B. Schultz, Samuel J. Callaghan, Matthew D. Jeffriess, i Simon P. Berry. 2013. „Reliability and Validity of a New Test of Change-of-Direction Speed for Field-Based Sports: The Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT)”. *Journal of Sports Science & Medicine* 12 (1): 88–96.
- Loturco, Irineu, Sophia Nimphius, Ronaldo Kobal, Altamiro Bottino, Vinicius Zanetti, Lucas A. Pereira, i Ian Jeffreys. 2018. „Change-of Direction Deficit in Elite Young Soccer Players: The Limited Relationship between Conventional Speed and Power Measures and Change-of-Direction Performance”. *German Journal of Exercise and Sport Research* 48 (2): 228–34. <https://doi.org/10.1007/s12662-018-0502-7>.
- Loturco, Irineu, Lucas A. Pereira, José E. Moraes, Katia Kitamura, César C. Cal Abad, Ronaldo Kobal, i Fábio Y. Nakamura. 2017. „Jump-Squat and Half-Squat Exercises: Selective Influences on Speed-Power Performance of Elite Rugby Sevens Players”. Zredagowane przez Luca Paolo Ardigò. *PLOS ONE* 12 (1): e0170627. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170627>.
- Loturco, Irineu, Lucas A. Pereira, Valter P. Reis, César C. C. Abad, Tomás T. Freitas, Paulo H. S. M. Azevedo, i Sophia Nimphius. 2020. „Change of Direction Performance in Elite Players From Different Team Sports”: *Journal of Strength and Conditioning Research*, marzec, 1. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003502>.
- Maloney, Sean J., Joanna Richards, Daniel G. D. Nixon, Lewis J. Harvey, i Iain M. Fletcher. 2016. „Do Stiffness and Asymmetries Predict Change of Direction Performance?” *Journal of Sports Sciences*, kwiecień, 1–10. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1179775>.
- McElveen, Michael T, Bryan L Riemann, i Gorge J Davies. 2010. „Bilateral Comparison of Propulsion Mechanics During Single-Leg Vertical Jumping”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c06e0b>.
- McInnes, S.E., J.S. Carlson, C.J. Jones, i M.J. McKenna. 1995. „The Physiological Load Imposed on Basketball Players during Competition”. *Journal of Sports Sciences* 13 (5): 387–97. <https://doi.org/10.1080/02640419508732254>.
- McKay, Alannah K.A., Trent Stellingwerff, Ella S. Smith, David T. Martin, Iñigo Mujika, Vicky L. Goosey-Tolfrey, Jeremy Sheppard, i Louise M. Burke. 2021. „Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework”. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/doi.org/10.1123/ijsp.2021-0451>.
- Menzel, Hans-Joachim, Mauro H Chagas, Leszek A. Szmuchrowski, Silvia R.S Araujo, Andre G. P. de Andrade, i Fabianna Resende de Jesus- Moraleida. 2013. „Analysis of Lower Limb Asymmetries by Isokinetic and Vertical Jump Tests in Soccer Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research*, maj, 1370–77. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318265a3c8>.
- Michailidis, Yiannis, Christos Savvakis, Vassilis Pirounakis, Dimitrios Mikikis, Konstantinos Margonis, i Metaxas Thomas. 2020. „Association between jump asymmetry and reduced performance in the change of direction tests of youth soccer players”. *Journal of Physical Education and Sport* 2020 (03). <https://search.proquest.com/docview/2415857724/fulltextPDF/9D9D0DC40DA04C55PQ/1>.
- Nagahara, Ryu, Mirai Mizutani, Akifumi Matsuo, Hiroaki Kanehisa, i Tetsuo Fukunaga. 2018. „Association of Sprint Performance With Ground Reaction Forces During Acceleration and Maximal Speed Phases in a Single Sprint”. *Journal of Applied Biomechanics*, 104–10. <https://doi.org/doi.org/10.1123/jab.2016-0356>.
- Newton, Robert U, Aimee Gerber, Sophia Nimphius, Jae K. Shim, Brandon K. Doan, Mike Robertson, David R. Pearson, Bruce W. Craig, Keijo HÄKKINEN, i William J.

- Kraemer. 2006. „DETERMINATION OF FUNCTIONAL STRENGTH IMBALANCE OF THE LOWER EXTREMITIES”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/00124278-200611000-00039>.
- Nimphius, Sophia, Samuel J. Callaghan, Neil E. Bezodis, i Robert G. Lockie. 2018. „Change of Direction and Agility Tests: Challenging Our Current Measures of Performance”. *Strength & Conditioning Journal* 40 (1): 26–38. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000309>.
- Nimphius, Sophia, Michael R Mcguigan, i Robert U Newton. 2010. „Relationship Between Strength, Power, Speed, and Change of Direction Performance of Female Softball Players”: *Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (4): 885–95. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d4d41d>.
- O’Grady, Mathew W, Warren B Young, Scott W. Talpey, i David G Behm. 2021. „Does the warm-up effect subsequent post activation performance enhancement?” *Journal of Sport and Exercise Science* 4 (wrzesień): 302–9. <https://doi.org/doi/10.36905/jses.2021.04.08>.
- Papla, Monika, Michal Krzysztofik, Grzegorz Wojdala, Robert Rocznio, Marcin Oslizlo, i Artur Golas. 2020. „Relationships between Linear Sprint, Lower-Body Power Output and Change of Direction Performance in Elite Soccer Players”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (17): 6119. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176119>.
- Pereira, Lucas A., Sophia Nimphius, Ronaldo Kobal, Katia Kitamura, Luiz A.L. Turisco, Rita C. Orsi, César C. Cal Abad, i Irineu Loturco. 2018. „Relationship Between Change of Direction, Speed, and Power in Male and Female National Olympic Team Handball Athletes”: *Journal of Strength and Conditioning Research* 32 (10): 2987–94. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002494>.
- Rodiles-Guerrero, Luis, Pedro Jesús Cornejo-Daza, Juan Sánchez-Valdepeñas, Julian Alcazar, Carlos Rodriguez-López, Miguel Sánchez-Moreno, Luis María Alegre, Juan A. León-Prados, i Fernando Pareja-Blanco. 2022. „Specific Adaptations to 0%, 15%, 25%, and 50% Velocity-Loss Thresholds During Bench Press Training”. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/doi.org/10.1123/ijsp.2021-0481>.
- Sassi, Radhouane Haj, Wajdi Dardouri, Mohamed Haj Yahmed, Nabil Gmada, Mohamed Elhedi Mahfoudhi, i Zied Gharbi. 2009. „Relative and Absolute Reliability of a Modified Agility T-Test and Its Relationship With Vertical Jump and Straight Sprint”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (6): 1644–51. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b425d2>.
- Sayers, Mark G.L. 2015. „Influence of Test Distance on Change of Direction Speed Test Results”: *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (9): 2412–16. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001045>.
- Scanlan, Aaron T., Neal Wen, David B. Pyne, Emilija Stojanović, Zoran Milanović, Daniele Conte, Alejandro Vaquera, i Vincent J. Dalbo. 2021. „Power-Related Determinants of Modified Agility T-Test Performance in Male Adolescent Basketball Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 35 (8): 2248–54. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003131>.
- Seitz, Laurent B., i G. Gregory Haff. 2016. „Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis”. *Sports Medicine* 46 (2): 231–40. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0415-7>.
- Sjöberg, Maria, Hans E Berg, Lena Norrbrand, Michael S. Andersen, Elena M. Gutierrez-Farewik, Patrik Sundblad, i Ola Eiken. 2021. „Comparison of Joint and Muscle

- Biomechanics in Maximal Flywheel Squat and Leg Press”. *Frontiers in Sport and Active Living*. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.686335>.
- Soriano, Marcos A, Timothy J. Suchomel, i Pedro J. Marin. 2017. „The Optimal Load for Maximal Power Production During Upper-Body Resistance Exercises: A Meta-Analysis”. *Sports Medicine*, nr 47 (4) (kwiecień). <https://doi.org/DOI: 10.1007/s40279-016-0626-6>.
- Spiteri, Tania, Sophia Nimphius, Nicolas H. Hart, Christina Specos, Jeremy M. Sheppard, i Robert U. Newton. 2014. „Contribution of Strength Characteristics to Change of Direction and Agility Performance in Female Basketball Athletes”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (9): 2415–23. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000547>.
- Suarez-Arrones, Luis, Oliver Gonzalo-Skok, Irene Carrasquilla, Jose Asián-Clemente, Alfredo Santalla, Pilar Lara-Lopez, i F. Javier Núñez. 2020. „Relationships between Change of Direction, Sprint, Jump, and Squat Power Performance”. *Sports* 8 (3): 38. <https://doi.org/10.3390/sports8030038>.
- Suchomel, Timothy J., Christopher A. Bailey, Christopher J. Sole, Jacob L. Grazer, i George K. Beckham. 2015. „Using Reactive Strength Index-Modified as an Explosive Performance Measurement Tool in Division I Athletes”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000743>.
- Timon, Rafael, Silvia Allemano, Marta Camacho-Cardenosa, Alba Camacho-Cardenosa, Ismael Martinez-Guardado, i Guillermo Olcina. 2019. „Post-Activation Potentiation on Squat Jump Following Two Different Protocols: Traditional vs. Inertial Flywheel”. *Journal of Human Kinetics* 69 (1): 271–81. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0017>.
- Tsoukos, Athanasios, Lee E. Brown, Panagiotis Veligeas, Gerasimos Terzis, i Gregory C. Bogdanis. 2019. „Postactivation Potentiation of Bench Press Throw Performance Using Velocity-Based Conditioning Protocols with Low and Moderate Loads”. *Journal of Human Kinetics* 68 (1): 81–98. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0058>.
- Turner, Anthony P., Sam Bellhouse, Liam P. Kilduff, i Mark Russell. 2015. „Postactivation Potentiation of Sprint Acceleration Performance Using Plyometric Exercise”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000647>.
- Wen, Neal, Vincent J. Dalbo, Bill Burgos, David B. Pyne, i Aaron T. Scanlan. 2018. „Power Testing in Basketball: Current Practice and Future Recommendations”. *Journal of Strength and Conditioning Research*, nr 2677–2691. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002459>.
- Wilson, Jacob M., Nevine M. Duncan, Pedro J. Marin, Lee E. Brown, Jeremy P. Loenneke, Stephanie M.C. Wilson, Edward Jo, Ryan P. Lowery, i Carlos Ugrinowitsch. 2013. „Meta-Analysis of Postactivation Potentiation and Power: Effects of Conditioning Activity, Volume, Gender, Rest Periods, and Training Status”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27 (3): 854–59. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825c2bdb>.
- Wong, Vickie, Yujiro Yamada, Zachary W. Bell, Robert W. Spitz, Ricardo B. Viana, Raksha N. Chatakondi, Takashi Abe, i Jeremy P. Loenneke. 2020. „Postactivation Performance Enhancement: Does Conditioning One Arm Augment Performance in the Other?” *Clinical Physiology and Functional Imaging* 40 (6): 407–14. <https://doi.org/10.1111/cpf.12659>.

10. Kopie prac wchodzących w skład cyklu publikacji

10.1 Praca nr 1



Article

Relationship between lower limb power output, sprint and change of direction performance in soccer players

Monika PAPLA^{1*}, Agata LATOCHA², Wojciech GRZYB³, Artur GOŁAŚ⁴

¹ Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Katowice, Poland, ORCID 0000-0002-7007-2523

² Nutrition and Sports Performance Research Group, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Katowice, Poland, ORCID 0000-0003-4077-8346

³ Gdansk University of Physical Education and Sport, Gdansk, Poland, ORCID 0000-0002-6115-4033

⁴ Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Katowice, Poland, ORCID 0000-0002-6656-6993

* Correspondence: Monika Papla, Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, 40-065 Katowice, Mikołowska 72A, Poland; e-mail: m.papla@wvf.katowice.pl

Abstract: Introduction: Although soccer matches require players to perform repetitive power-related abilities, the impact of lower-body strength and power asymmetry on sprint and change of direction (COD) performance receives little attention. Therefore, this study aimed to establish the relationship between lower limb power, sprint, and change of direction (COD) performance. In addition, the relationship between lower limb power asymmetry and the above mentioned running tests was determined. Material and Methods: Twenty-four male soccer players from First Polish League (age = 24.8 ± 8.2 years, body mass = 77.4 ± 16.9 kg, body height = 179.5 ± 14.5 cm, soccer training experience = 10 ± 1.5 years) took part in the study. To examine the relationship between linear sprint, lower limb muscle power, and COD performance (time and deficit), the following tests were performed: 5- and 20-m linear sprint, leg press exercise, and two 20-m COD sprints ("COD90°" and "L" test). Result: Pearson correlation coefficients didn't show any statistically significant relationship between lower limb power and linear sprint speed as well as COD performance. The results indicate that the considered variables are independent physical characteristics. Conclusion: Relative lower limb-power output and low level of mean inter-limb asymmetry in power output does not affect 5- and 20-m linear sprint time and COD performance with 90° turn.

Keywords: asymmetry, COD deficit, COD, team sports, leg press.

Citation: Papla M, Latocha A, Grzyb W, Gołas A. Relationship between lower limb power output, sprint and change of direction performance in soccer players. *Balt J Health Phys Act.* 2022;14(3):Article3. <https://doi.org/10.29059/BJHPA.14.3.03>

Academic Editor:
Aleksandra Bojarczuk

Received: March 2022
Accepted: July 2022
Published: September 2022

Publisher's Note: BJHPA stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by Gdansk University of Physical Education and Sport.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY-NC-ND) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Soccer matches require players to perform repetitive power-related abilities such as sprinting, jumping, accelerating, decelerating, changing direction, and cutting interspersed with periods of low to medium intensity activity (e.g., walking) [1]. Therefore, soccer players' locomotion speed tests are of great significance and popularity, e.g., covering a certain distance in a straight line (5m, 20m) or with a change of direction (COD) (Zigzag, 5-0-5). The ability to COD while running at high speed is of great interest because it seems to be a better reflection of match conditions [2, 3].

During COD, the participant's ability to accelerate, slow down, and re-accelerate in a new direction requires a rapid application of force. The acceleration phase in COD and linear sprints include similar technical factors, thus the improvement in acceleration may be beneficial in terms of subsequent accelerations after successive COD maneuvers and transitions between them [4–9]. Considering the significance of acceleration, it can also be

assumed that linear speed and lower body power output could be related to COD performance [9].

A measure that helps in assessing the isolated COD capacity is the COD deficit. The COD deficit corresponds to the difference in speed between the linear sprint and the task of an equal distance with a COD [10,11]. The influence of various variables on the COD efficiency was analyzed, e.g., jump height, lower body power, and strength [4, 12, 13]. A study by Loturco et al. [3] did not confirm the relationship between the Zigzag test (COD 100°) and relative mean propulsive power output during the half squat and squat jump (progressively added load during both exercises) in youth soccer players. However, the authors showed a statistically significant positive correlation between the 10 and 20 m linear sprint and the COD deficit in the Zigzag test [3]. Furthermore, Nimphius et al. [11] showed a positive relationship between the 100° COD deficit and the 505 test. On the other hand, Pereira et al. [10] found a positive correlation between the 100° COD tests and mean propulsive power output (obtained in the squat jump and the countermovement jump) in female and male handball teams. Interestingly, the authors point out that the magnitude of the correlation coefficient between the aforementioned data may significantly differ depending on the mechanical requirements of each COD task, as well as when isolating the COD deficit [10]. Therefore, according to Nygard et al. [14] and Bourgeois [15] it seems that angles below 90° are more speed-oriented, while higher COD values than 90° are more force-oriented [14,15].

Although the impact and relationship between lower-body strength and power output have been extensively studied, the contribution of lower-body power-related asymmetry on sprint and COD performance receives little attention with inconsistent results of available data [13, 16–18]. Maloney et al. [13], Bishop et al. [13, 17, 19], and Michailidis et al. [17], concluded that lower leg inter-limb asymmetry (measured by single leg jump height) positively correlated with 20m linear sprint time. However, Maloney et al. [13] studied a group of healthy but untrained males, while Bishop et al. [19] and Michailidis et al. [17] conducted a study on a group of soccer players aged 10 to 15 years. In turn, Lockie et al. [18] found that lower-limbs asymmetry didn't impair performance in the T-test and 505 (both with 180° COD) test in team sports players. The authors suggested that an inter-limb asymmetry value close to 10% in a single-leg vertical jump height shouldn't attenuate running performance [18]. Bearing in mind that the sports discipline practiced has a significant impact on the degree of asymmetry in the body [20], it may be argued that excessive asymmetry may affect linear speed and COD abilities over time. It should be noted that soccer leads to the development of asymmetric musculoskeletal adaptation of the lower limbs, resulting in muscular asymmetries and body posture [21]. Michailidis et al. [17] noted that an inter-limb asymmetry of 10% may be unfavorable and lead to disturbances in movement patterns and injuries in children between 10 and 15 years old. Hence, more research is needed to assess the impact and relationship of limb asymmetry with power-related movements to maximize sports performance and prevent injury.

Therefore, this study aimed to establish the relationship between lower limb power output during the leg press exercise, along with power output asymmetry in this exercise, 5- and 20-m linear sprint, and COD performance assessed by the Zigzag and L test, and COD deficits in those tests. It was assumed that lower limb power output would positively correlate with sprint and COD performance, while the asymmetry would negatively correlate with COD performance.

2. Materials and Methods

2.1. Experimental Design

To examine the relationship between linear sprint, leg power inter-limb asymmetry and COD performance, the following tests were applied: 5- and 20-m linear sprint, leg press exercise, and two different 20-m COD sprints, ("ZigZag"-90° and "L" test-90°). Additionally, the COD deficit was calculated for each trial. Measurements were conducted in two

sessions, 72h apart in counterbalanced order. In one session participants performed linear and COD sprints, and in the other one, the leg press exercises to assess the leg power inter-limb asymmetry.

2.2. Study Participants

Twenty-four male elite soccer players from the First Polish League ((age = 24.8 ± 8.2 years, body mass = 77.4 ± 16.9 kg, body height = 179.5 ± 14.5 cm, soccer training experience = 10 ± 1.5 years) took part in the study. The participants were all full-time professionals who trained daily. The tests were conducted during the winter break between the seasons to eliminate additional factors. Participants attended the study with valid medical examinations and showed no contraindications to participate in physical fitness tests. The players were instructed to maintain their normal dietary habits over the course of the study and not to use any supplements or stimulants for the duration of the experiment. All players or their legal guardians, because two of them were under eighteen years old, gave their written consent to participate in the research. The inclusion criteria were as follows: a) training experience above 8 years, b) competition in a first-league team, c) no injury in the 6 months prior to the tests, d) active participation in training sessions at least 5 times a week in the last 6 months. The study protocol was approved by the Bioethics Committee for Scientific Research (3/2021), at the Academy of Physical Education in Katowice, Poland, and performed according to the ethical standards of the Declaration of Helsinki, 2013.

2.3. Testing Procedures

The experimental sessions were conducted between 9:00 and 11:00 a.m. The session was preceded by a warm-up protocol, which included 5 minutes of jogging, several upper and lower body exercises like push-ups, body weight squats and split squats, a single 20 m sprint, 5 m sprint, one of each COD tests (90° and "L") and two sets of the leg press exercise. All sprint tests were performed on an indoor field with an artificial grass surface.

2.3.1. Linear Sprint Test

The running times were recorded by two pairs of dual-beam Witty Gate photocells (Microgate, Bolzano, Italy) with a measuring precision of 0.01 s. After the warm-up, participants performed two maximum 20m sprints with a 5-minute rest interval between them. The participants started with the front foot placed 0.5 m behind the first timing gate to prevent any early triggering of the start gate. The participants started when ready to eliminate the effects of reaction time. The best time from both attempts was retained for further analysis [22].

2.3.2. Change of Direction Tests

After the linear sprint test, participants rested for 5 minutes and then performed the COD tests. Each participant performed two tests with 90° COD in randomized order: Zig-Zag and L-test (Figure 1 and Figure 2) [9]. The participant's task was to cover a 20m section with designated cones with changes in direction and movement pattern. During the L-test, the manner of distraction was specified, first a 5m sprint, then a 5m stand-up step twice, then a reverse run. Each running test was performed twice with a 3-minute rest-interval between attempts. The fastest time from each COD test was retained for further analysis.

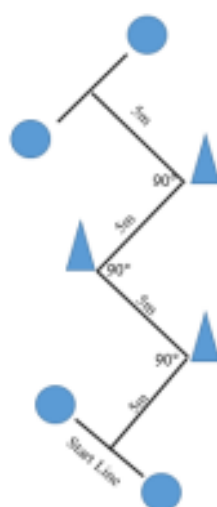


Fig. 1. Schematic presentation of the 90° change of direction test. Circles represent the positions of the photocells.

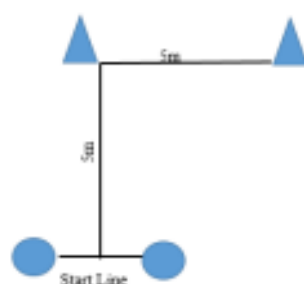


Fig. 2. Schematic presentation of the L-test. Circles represent the position of photocells.

2.3.3. Lower-Body Power Output

Through the second experimental session, peak power output during the leg press exercise was assessed using the Keiser Air420 leg press pneumatic machine (Keiser Corporation, Fresno, CA, USA). The load was 120% of the subject's body weight [23]. The Keiser pneumatic resistance system utilizes air-pressurized resistance to maximize safety and allows for precision loading within 1kg. The Keiser Leg Press device, thanks to independent plates, evaluates both limbs, which allows to obtain the results of strength, power, and asymmetry between the limbs. In addition, the repeatability and reliability of the device has been confirmed in previous studies [12, 24]. After the warm-up, each subject performed two repetitions with both legs, then with the right and left legs separately. The device plates are pushed out from a sitting position with the knee joints bent at 90 degrees until fully extended. The participants were informed that the extension of the lower limbs, i.e., the concentric phase, should be performed as quickly as possible. There was a 3-minute rest interval between attempts. Peak power was retained for the analysis.

2.3.4. Asymmetry index

The following formula was used to identify the percentage of asymmetry between the lower limbs. In both formulas used, the results of the percent difference between the limbs were presented [25].

$$LSI (\%) = (2 * (Right\ leg - Left\ leg) / (Right\ leg + Left\ leg)) * 100$$

2.4. Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using Statistica 9.1 (Hillview, Palo Alto, CA, USA). Data are presented as means and standard deviations (SD) with 95% confidence intervals (CI). Pearson product-moment correlation coefficient was used to analyze the relationships between the sprint and power performance. Correlations were evaluated as follows: trivial (0.0–0.09), small (0.10–0.29), moderate (0.30–0.49), large (0.50–0.69), very large (0.70–0.89), nearly perfect (0.90–0.99) and perfect (1.0) [26]. The significance level for the correlation analysis was set as $p < 0.05$.

3. Results

All data are presented in Table 1, while values of individual lower limb symmetry index are presented in Figure 3. Pearson product-moment correlation coefficient test did not show any statistically significance correlation between lower limb power performance and linear sprint time as well as COD tests performance (Table 2).

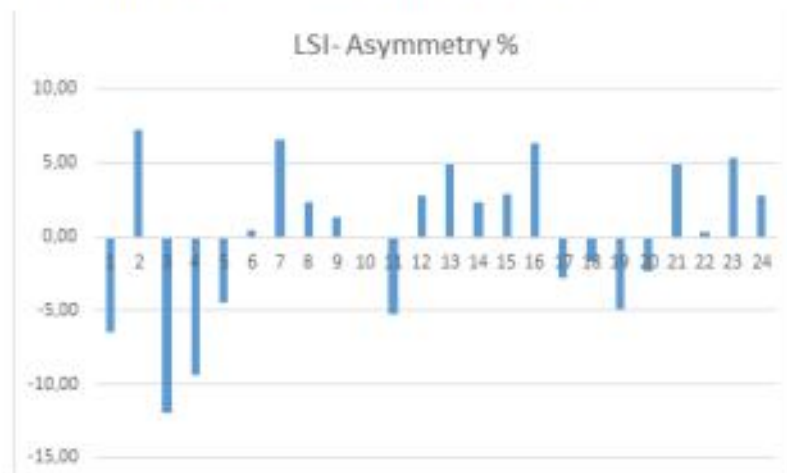


Fig. 3. Limb symmetry index (LSI) – individual asymmetry percentage for the leg press exercise. * Dominant left lower limb “-”, dominant right lower limb “+”.

Table 1. Descriptive data for all measured tests.

Test (N = 24)	Mean ± SD	95% CI
5 m	1.02 ± 0.06	0.969 to 1.071
20 m Linear Sprint (s)	2.95 ± 0.12	2.80 to 3.10
COD90 (s)	6.65 ± 0.17	6.32 to 6.99
COD90def	3.7 ± 0.14	3.515 to 3.885
L test (s)	5.57 ± 0.24	5.36 to 5.92
Power both legs /leg press/ (W)	28.36 ± 3.64	26.942 to 29.778
Power right leg /leg press/ (W)	16.34 ± 1.9	15.523 to 17.157
LSI [27] (%)	4.16 ± 2.89	3.952 to 4.368

Mean ± standard deviation (SD); CI – confidence intervals; COD – change of direction; L-test DEF- L-test deficit; LSI – limb symmetry index

Table 2. Pearson correlation between all measured data.

	5m	20m	ZigZag	ZigZag ₉₀	L-test	L-test ₉₀
Relative Peak Power both legs	-.372	-.244	-.218	-.059	-.242	-.133
Relative Peak Power right leg	-.191	-.175	-.205	-.101	-.216	-.141
Relative Peak Power left leg	-.317	-.277	-.196	-.004	-.143	-.012
LSI	-.193	-.179	.008	.161	.258	.364

4. Discussion

The aim of the research was to check whether relative lower limb power output during leg press exercise and the degree of its asymmetry has an effect on COD and linear sprint performance. The main finding of this study was that the relative lower limb-power output during leg press exercise and a low level of inter-limb asymmetry in power output does not relate with the 5- and 20-m linear sprint time and COD performance with 90 degree angle.

In studies conducted on handball players (men and women), moderate to very large positive correlations between the mean propulsive power output during vertical jumps (squat and countermovement jump) and COD performance (T-test, COD90) were observed [10]. Wisloff et al. [28] found strong positive correlations between half squat maximum strength, 30m sprints, jumps (countermovement jump height), and shuttle tests in professional soccer players [28]. On the other hand, Loturco et al. [3], noted no significant relationships between mean propulsive power (squat jump and half squat) and COD (with 100° turn) among young soccer players. In this study also no statistically significant correlations between lower limbs power output and the sprint time with COD performance was noticed. The differences in the results of particular authors [10, 28] may result from the use of different types of tests. Since the specificity of movement during COD requires not only acceleration, deceleration and re-acceleration, but also maintaining coordination, stabilizing the body and lowering the center of gravity of the body, not all tests will reflect these requirements, which may affect the correlations. The authors also noted that different levels of correlation might occur depending on the mechanical requirements of the COD test used [10]. As noted by Nimphius et al. [27] there is no single COD requirement for all athletes, and there is probably no single test that is universally valid. Each test should reflect its objective (e.g. complete test in minimum time or maximum speed) and match the test accordingly. The above mentioned authors found that there was no single method for evaluating COD that could explain the differences obtained in particular research projects [27].

The lack of a significant correlation between lower limbs' relative power output and its asymmetry with the data obtained during the runs in this study may be caused by the small asymmetry values. It should be checked whether, recruiting a group of athletes with higher values of asymmetry, would result in higher correlations or not. In addition, the correlation between COD, L-test, and % asymmetry is not significantly related. This may result, as suggested by Lockie et al., [18] from slight differences in the asymmetry between the power of the lower limbs. Lockie and co-authors [18] noticed that participants with greater training experience cope better with technical tasks, and thus perhaps their asymmetries are made up by the technique of performing a movement. Moreover, they noticed that the association of COD and asymmetry can be considered as an indicator of an participants level of fitness [18].

Bishop et al. [19] noticed that larger asymmetries were associated with lower jumping efficiency, the asymmetry of the countermovement jump on one leg was task-dependent, with sprint times of 5, 10, 20 m [19]. Pardos-Mainer et al. [17] in studies on soccer players

noticed that there is a relationship between lower limb power asymmetries and COD in adolescent girls, which had no effect on physical performance [16]. However, according to the knowledge obtained during the research, greater than 10% [17, 18] asymmetry between the lower limbs may result in disturbance of movement patterns and errors in the correct performance of exercises during training tasks. It has been observed that asymmetries of less than 10% [17, 18] are associated with shorter times in running tests, and the magnitude of the asymmetry may explain the disturbances occurring during COD [13]. The asymmetry detected in less trained individuals will decrease after the application of appropriate training stimuli [27]. Previously in soccer, sprint and endurance tests were applied most often, while currently specialists more frequently decide to introduce COD tests that reflect match conditions [28]. The tests allow to monitor the physical fitness of participants, as well as to detect asymmetry [17, 18, 29]. For participants with detected asymmetry greater than 10% [17, 18], additional, equalizing training units should be used, which will improve their motor performance [3].

5. Conclusions

Our research was conducted on a group of professional athletes, which may not apply to the general public. Similar conclusions have already been drawn from research conducted with youth soccer players [3]. There were several limitations in the described studies that should be considered in the design of subsequent protocols to obtain more accurate results. Research in the field of lower limb asymmetry should select a group with greater asymmetry values than the one described above. It is also worth using individualized % training loads instead of standardized ones, what will increase the reliability of the results. Future research should include variable angles of turning in COD tests. In addition, the authors noted the need to apply the same number of direction changes to the right and left respectively, as well as to apply a first shift take-off to both right and left sides. In order to expand the research, more participants of different age, sex and training experience must be recruited, as well as subjects with a higher inter-limb power asymmetry. It is also suggested to use different turning angles in COD tests. A variety of COD angles used in the tests allows for the differentiation of variables, reflection of match conditions and a broader presentation of the research problems considered [28]. Additionally, it may be desirable to evaluate muscle activity during COD tests with Electromyography clothing. Such changes would allow for more detailed results which could be used for a wider audience. In addition, examining muscle activity during the tests performed would help to specify which muscles generate bigger asymmetries. Further studies on the variables influencing CODDEF are conducted to obtain reliable answers to emerging new questions. It is also interesting and worth checking whether the results in other professional groups will be similar to the results of soccer players of this study. Future studies should concentrate on the influence of lower limb power asymmetry of adductors and abductors on COD performance, as well as on the effects of post activation potentiation of selected muscles on this motor ability.

The results indicate that Lower Limb Power Asymmetry, 20m Straight Line Running, COD, and L-Test are separate physical characteristics.

References

1. Stojanović E, Stojiljković N, Scanlan AT, Dalbo VJ, Berkelmans DM, Milanović Z. The activity demands and physiological responses encountered during basketball match-play: A systematic review. *Sports Med.* 2018 Jan;48(1):111–35. DOI: 10.1007/s40279-017-0794-z
2. Nimphius S, McGuigan MR, Newton RU. Relationship between strength, power, speed, and change of direction performance of female softball players: *J Strength Cond Res.* 2010 Apr;24(4):885–95. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181d4d41d
3. Loturco I, Nimphius S, Kopal R, Bottino A, Zanetti V, Pereira LA, et al. Change-of direction deficit in elite young soccer players: The limited relationship between conventional speed and

- power measures and change-of-direction performance. *Ger J Exerc Sport Res.* 2018 Jun;48(2):228–34. DOI: 10.1007/s12662-018-0502-7
4. Vescovi JD, McGuigan MR. Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J Sports Sci.* 2008 Jan;26(1):97–107. DOI: 10.1080/02640410701348644
 5. Buchheit M. Repeated-sprint performance in team sport players: Associations with measures of aerobic fitness, metabolic control and locomotor function. *Int J Sports Med.* 2012 Mar;33(03):230–9. DOI: 10.1055/s-0031-1291364
 6. Condello G, Minganti C, Lupo C, Benvenuti C, Pacini D, Tessitore A. Evaluation of change-of-direction movements in young rugby players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013 Jan;8(1):52–6. DOI: 10.1123/ijspp.8.1.52
 7. Sayers MGL. Influence of test distance on change of direction speed test results: *J Strength Cond Res.* 2015 Sep;29(9):2412–6. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001045
 8. Loturco I, Pereira LA, Moraes JE, Kitamura K, Cal Abad CC, Kobal R, et al. Jump-squat and half-squat exercises: selective influences on speed-power performance of elite rugby sevens players. *PLoS ONE.* 2017 Jan 23;12(1):e0170627. DOI: 10.1371/journal.pone.0170627
 9. Papla M, Krzysztofik M, Wojdala G, Roczniok R, Osizlo M, Golas A. Relationships between linear sprint, lower-body power output and change of direction performance in elite soccer players. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Aug 22;17(17):6119. DOI: 10.3390/ijerph17176119
 10. Pereira LA, Nimphius S, Kobal R, Kitamura K, Turisco LAL, Orsi RC, et al. Relationship between change of direction, speed, and power in male and female national Olympic team handball athletes. *J Strength Cond Res.* 2018 Oct;32(10):2987–94. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002494
 11. Nimphius S, Callaghan SJ, Spiteri T, Lockie RG. Change of direction deficit: a more isolated measure of change of direction performance than total 505 time. *J Strength Cond Res.* 2016 Nov;30(11):3024–32. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001421
 12. Redden J, Stokes K, Williams S. Establishing the reliability and limits of meaningful change of lower limb strength and power measures during seated leg press in elite soccer players. *J Sports Sci Med.* 2018;17(4):539–46.
 13. Maloney SJ, Richards J, Nixon DGD, Harvey LJ, Fletcher IM. Do stiffness and asymmetries predict change of direction performance? *J Sports Sci.* 2016 Apr 30;1–10. DOI: 10.1080/02640414.2016.1179775
 14. Nygaard Falch H, Guldteig Røedergård H, van den Tillaar R. Effect of different physical training forms on change of direction ability: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med - Open.* 2019 Dec;5(1):53. DOI: 10.1186/s40798-019-0223-y
 15. Bourgeois, Frank. Strength, speed-strength and performance in change of direction tasks in rugby union athletes. 2017.
 16. Pardos-Mainer E, Bishop C, Gonzalo-Skok O, Nobari H, Pérez-Gómez J, Lozano D. Associations between inter-limb asymmetries in jump and change of direction speed tests and physical performance in adolescent female soccer players. *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Mar 27;18(7):3474. DOI: 10.3390/ijerph18073474
 17. Michailidis Y, Savvakis C, Pitsounakis V, Mikkis D, Margonis K, Thomas M. Association between jump asymmetry and reduced performance in the change of direction tests of youth soccer players. *J Phys Educ Sport.* 2020 May 30;2020(03). DOI: 10.7752/jpes.2020.03188
 18. Lockie RG, Callaghan SJ, Berry SP, Cooke ERA, Jordan CA, Luczo TM, et al. Relationship between unilateral jumping ability and asymmetry on multidirectional speed in team-sport athletes. *J Strength Cond Res.* 2014 Dec;28(12):3557–66. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000588
 19. Bishop C, Read P, McCubbine J, Turner A. Vertical and horizontal asymmetries are related to slower sprinting and jump performance in elite youth female soccer players. *J Strength Cond Res.* 2021 Jan;35(1):56–63. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002544
 20. Kalata M, Maly T, Hank M, Michalek J, Bujnovsky D, Kunzmann E, Zahalka F. Unilateral and bilateral strength asymmetry among young elite athletes of various sports. *Med Kaunas Lith.* 2020 Dec 10;56(12). DOI: 10.3390/medicina56120683
 21. Fousekis K, Tsepis E, Vagenas G. Lower limb strength in professional soccer players: Profile, asymmetry, and training age. *J Sports Sci Med.* 2010;9(3):364–73.
 22. Comfoet P, Jones P, McMahon JJ, editors. *Performance assessment in strength and conditioning.* London; New York: Routledge, Taylor & Francis Group; 2019. DOI: 10.4324/9781315222813

23. Maior A. Absolute and relative peak power during pneumatic squat exercise using different percentages of loads in elite soccer players. *Hum Mov.* 2020;21(3):64–70. DOI: 10.5114/hm.2020.91347
24. LeBrasseur NK, Bhasin S, Miciek R, Storer TW. Tests of muscle strength and physical function: reliability and discrimination of performance in younger and older men and older men with mobility limitations. *J Am Geriatr Soc.* 2008 Nov;56(11):2118–23. DOI: 10.1111/j.1532-5415.2008.01953.x
25. Bishop C, Read P, Chavda S, Turner A. Asymmetries of the lower limb: The calculation conundrum in strength training and conditioning. *Strength Cond J.* 2016 Dec;38(6):27–32. DOI: 10.1519/SSC.000000000000264
26. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 2000;30(1):1–15. DOI: 10.2165/00007256-200030010-00001
27. Bazylar CD, Bailey CA, Chiang CY, Sato K, Stone MH. The effects of strength training on isometric force production symmetry in recreationally trained males. *J Trainology.* 2014;3(1):6–10. DOI: 10.17338/trainology.3.1_6
28. Chaouachi A, Manzi V, Chaalali A, Wong DP, Chamari K, Castagna C. Determinants analysis of change-of-direction ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res.* 2012 Oct;26(10):2667–76. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318242f97a
29. Nadler SF, Malanga GA, Feinberg JH, Prybicien M, Stitik TP, DePrince M. Relationship between hip muscle imbalance and occurrence of low back pain in collegiate athletes: A prospective study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2001 Aug;80(8):572–7. DOI: 10.1097/00002060-200108000-00005

Author Contributions: Study Design, MP, AG; Data Collection, MP, AL; Statistical Analysis, MP, AL; Data Interpretation, MP, WC; Manuscript Preparation, MP; Literature Search, MP; Funding Acquisition, WC, AG. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Acknowledgements: Thanks to Michał Krzysztofik for help with the statistical analysis and data interpretation.

Funding: This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Institutional Review Board Statement: The study protocol was approved by the Bioethics Committee for Scientific Research (3/2021), at the Academy of Physical Education in Katowice, Poland, and performed according to the ethical standards of the Declaration of Helsinki, 2013.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects or their legal guardians (in case of underage persons) involved in the study.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Article

Contribution of Strength, Speed and Power Characteristics to Change of Direction Performance in Male Basketball Players

 Monika Papla ¹, Dawid Perenc ², Adam Zajac ¹ , Adam Maszczyk ¹  and Michał Krzysztofik ^{1,2,*} 
¹ Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, 40-065 Katowice, Poland

² Nutrition and Sports Performance Research Group, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, 40-065 Katowice, Poland

* Correspondence: m.krzysztofik@iawf.katowice.pl

Abstract: This study aimed to investigate the relationships between the modified 1-agility test (MAT) time and muscular strength and power of lower limb extensors, adductors (AD), and abductors (AB). Nineteen male basketball players performed: linear sprint tests at 5 m and 20 m, MAT, countermovement (CMJ) and drop jump (Dj), leg press exercise, AD and AB hip maximum isometric strength measurements. All of them were left leg dominant. The correlation analysis showed a significant, moderate to very large negative relationship between MAT test time initiated to the left and height of CMJ and Dj ($r = -0.69$ and -0.54 ; $p < 0.01$, both), left ($r = -0.56$; $p < 0.01$) and right leg ($r = -0.41$; $p < 0.05$) AD, left leg AB ($r = -0.48$; $p < 0.05$) maximum isometric strength, left ($r = -0.72$; $p < 0.01$) and right ($r = -0.64$; $p < 0.01$) leg power output in leg press. In the case of the MAT test initiated on the right side first, the correlations were found between CMJ height ($r = -0.46$; $p < 0.05$), AD and AB maximum isometric strength of left ($r = -0.58$ and -0.84 ; $p < 0.01$, both) and right leg ($r = -0.58$ and -0.79 ; $p < 0.01$, both), and both legs power output in leg press ($r = -0.66$ for left and $r = -0.59$ for right; $p < 0.01$, both). The regression analyses showed that the prediction model of left leg press peak power, left leg AD maximum isometric strength, and CMJ height could explain up to 93% of the MAT test time initiated to the left first. The model, including left leg AB and AD maximum isometric strength, could explain up to 83% of the MAT test time initiated to the right side first. Findings from this study demonstrate that AB and AD maximum isometric muscle strength are highly related to MAT test performance, which is particularly important when the first turn is performed in the non-dominant direction in this test.

Keywords: team sports; change of direction; hip abductors; hip adductors; maximal isometric strength



Citation: Papla, M.; Perenc, D.; Zajac, A.; Maszczyk, A.; Krzysztofik, M. Contribution of Strength, Speed and Power Characteristics to Change of Direction Performance in Male Basketball Players. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 8484. <https://doi.org/10.3390/app12178484>

Academic Editors: Iori Sakakihara and Shinichiro Hayashi

Received: 26 July 2022

Accepted: 23 August 2022

Published: 25 August 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Basketball is an intermittent sports activity characterized by periods of moderate and high-intensity exercise, including sprinting, backwards and sideways, running, shooting, rebounding, dribbling, jumping, as well as turning, and cutting. These activities are usually interspaced by very short, low-intensity recovery periods [1,2]. Depending on the sports level and playing position, a basketball player may change the direction (COD) and speed of movement from 550 up to 1000 times during a game [3]. McInnes et al. [4] and Abdelkrim et al. [5] indicate that an elite player performs over 997 ± 183 activities during a game, changing pace and direction of movement every 2 s. The same authors show that elite players perform up to 100 sprints at distances ranging from 3–5 m, while 30% of the game time, the players move laterally, usually by shuffling. Considering the motor characteristics of basketball, the COD ability is perhaps the most significant fitness component in this team sport.

Athletes' ability to change direction quickly is a crucial aspect of their sport-related fitness, but there have been many disputes over how to evaluate and improve this skill [6].

It has long been believed that conventional strength and power training enhances COD performance. The strength and power characteristics and COD, however, do not appear to be strongly associated according to correlation analysis [7]. Additionally, linear speed has not demonstrated any meaningful relationships with COD [8], and reactive strength appears to have a stronger effect on COD than the lower limbs' maximal isometric strength (MIS) [9]. While unilateral horizontal and lateral jump training has positively affected COD, numerous studies that used bilateral strength exercises in the vertical direction have failed to elicit improvements [10]. Considering test design and training program efficacy, it appears that COD evaluation and training deserve additional research.

A variety of methods, such as the pro-agility shuttle, three-cone drill, L-run, T-test, and the Illinois agility test, have been suggested to evaluate COD capability [11]. Therefore, coaches and trainers are challenged to select the most appropriate and specific test to assess the agility of their athletes. Considering the aforementioned basketball demands, the modified T-test (MAT) seems to provide the most appropriate agility measurement for this sport [12]. The MAT is a unique test with four changes of direction, such as forward and backward sprinting and shuffling to the left and right over a short distance (total distance of 20 m). Therefore, this test provides a more specific measurement of agility for basketball.

Scientists and coaches differ in opinions on the contribution of particular abilities in determining CODs. Yet, most of them include lower limb strength and power tests, as well as linear speed [12–15]. Although MAT is the recommended test for basketball [15], to the best of our knowledge, only one study has so far studied the relationship between MAT and strength skills in a group of male basketball players [16]. A study by Scanlan et al. [16] showed that MAT performance is challenging and largely underpinned by several power-related characteristics such as standing long jump distance, relative peak force during the isometric midthigh pull, and relative peak force during a countermovement jump (CMJ), and 10 m sprint time. Moreover, it's interesting to note that research investigating the relationship between athletes' power attributes and MAT performance took into account trials carried out solely on the athletes' left side or dominant leg [7,16]. Hence it is unknown whether the initiation side is a factor modulating the MAT performance and its relationship with power-related measures. Furthermore, even though half of the MAT test distance is carried out by shuffling, there is a lack of research on its relationship with abductor and adductor strength.

Deterministic models of CODs would help identify the most significant components of this ability and then optimize training variables, including exercise choice, exercise time, intensity, volume, and the complexity of exercises directed at this ability. Another aspect worth considering is COD's impact on technical and tactical skills in team sports games. Considering the significance of COD speed in basketball, we attempted to determine which strength, speed, and power characteristics determine COD performance to the greatest extent. Therefore, the primary aim of this study was to quantify the magnitude of the relationships between the MAT time and the muscular strength of lower limb extensors, abductors, and adductors, the CMJ, drop jump (DJ), reactive strength index (RSI), and sprinting speed over 5 m and 20 m. The secondary aim was to investigate whether the relationships differ depending on the side initiation of the MAT test (to the left and right sides first).

2. Materials and Methods

2.1. Materials

Nineteen male competitive academic basketball players (Polish Second Division) with an average age of 22.7 ± 3.4 years were qualified for the research. The athletes constituted a homogenous group in regards to age, physical fitness, and training experience. The average body height and body mass of the athletes equaled 192.6 ± 4.8 cm, at 86.5 ± 5.7 kg, respectively, with 5.8 ± 2.3 years of training experience. The dominant limb of athletes was defined as the one used preferably in a single-legged jump [17]. All of the examined athletes were left leg dominant. All athletes had valid medical examinations, which allowed

them to take part in the experiment. The research was conducted at the beginning of the competitive season; thus, the players had significant conditioning, which included several weeks of general and specific basketball fitness training. Testing was scheduled for the same time of the day (at the typical training time, in the evening, between 5:00 and 7:00 p.m.) for both experimental sessions to avoid the effects of the circadian rhythm (on Monday and Tuesday after a day of rest). During both sessions, similar environmental conditions were ensured: temperature (21–22 °C) and relative air humidity (51–56%). The athletes were also told to adhere to the following rules before testing: (i) maintain their usual dietary and sleep habits, (ii) no intake of any energy/performance-enhancing supplements or drinks at least 24 h before testing; (iii) no intake of beverages containing alcohol and caffeine at least 24 h before testing. Moreover, they were told to wear their official competition suit during testing.

2.2. Methods

For the purpose of the study, an appropriate training cycle was constructed, which included testing on 2 days, planned in a specific order. The research started with the evaluation of body mass, body height, and body composition using bioelectric impedance. The measurements of body height were performed with a stadiometer (Seca 284, Seca Instruments Ltd., Hamburg, Germany) with a precision of 0.1 cm. Body composition was evaluated using the electrical impedance technique (Inbody 720, Biospace Co., Tokyo, Japan). Each testing day was preceded by a typical pre-training standardized 20–25 min warm-up, which consisted of jogging, dynamic stretching, skipping, backward and lateral movements, as well as several accelerations over 10 m. Depending on the test, a short specific warm-up was conducted, activating the muscles used in a particular movement. The linear sprint tests at 5 m and 20 m were performed first after a day of rest, followed by the MAT test. The following day, all strength and power evaluations were performed, including the CMJ, DJ, the leg press exercise, and the abductor and adductor lower limb strength measurements. The 5 and 20 m sprint tests and the MAT test were conducted on a wooden basketball court, while all other evaluations were performed in the Strength and Power Laboratory of the Institute of Sport Sciences, The Academy of Physical Education in Katowice, Poland. The study protocol was approved by the Bioethics Committee for Scientific Research, at the Academy of Physical Education in Katowice, Poland (3/2021), according to the ethical standards of the Declaration of Helsinki, 1983.

2.2.1. Measurement of Change of Direction (Modified Agility T-Test)

The MAT test was performed over a distance of 20 m and included linear sprints, lateral shuffling, and back pedaling, actions specific to the basketball [14] (Figure 1). The athletes started the test from a semi-crouched position facing forwards with the front foot placed 0.5 m behind the first timing gate to prevent any early triggering of the start gate. The players sprinted 5 m forwards to touch the top of the middle cone, then shuffled 2.5 m to the left or right, depending on the trial, to touch the next cone, shuffled 5 m in the opposite direction, touched the cone, shuffled 2.5 m back to the middle marker and finally pedaled back through the timing gates to the finish. Four trials were completed, with two initiating the shuffle to the left side first and two to the right side first. Three-minute rest intervals were used between trials. The timing gate was placed at the starting line (Witty, Microgate, Bolzano, Italy).

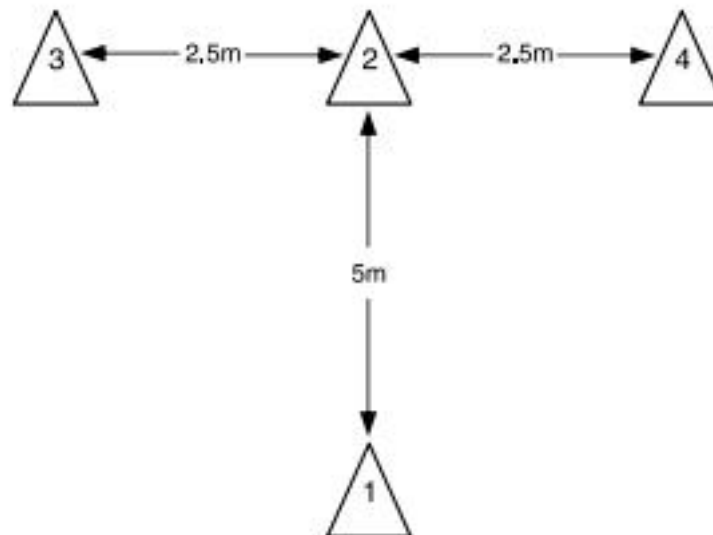


Figure 1. Schematic presentation of the modified agility T-test.

2.2.2. Measurement of Sprint Performance (5 m, 20 m)

The 20 m test trials evaluated linear starting speed and acceleration. The athletes began from a crouched start, with their lead foot placed 30 cm behind the timing gate. Three timing gates were used (Witty, Microgate, Bolzano, Italy), which allowed to measure the sprint time at 5 m and 20 m. After receiving a verbal signal, the athlete started at will. Two trials were used with a 3 min rest interval in between.

2.2.3. Measurement of Jumping Performance (CMJ, DJ)

Jumping assessments were performed on a force plate (Force Decks, Vald Performance, Albion, Australia), which has been previously proposed as a reliable device [18]. The CMJ was performed according to the recommendations previously proposed by Young et al. [19]. The athletes started in the standing position with a straight torso and knees fully extended with the feet shoulder-width apart, and hands were free to move. Then, they dropped into the countermovement position to a self-selected depth and immediately followed with a maximal effort vertical jump. Athletes were instructed to land in the same position as the take-off in the mid-section of the force plate. The athlete returned to the starting position after each jump, and the procedure was completed for a total of two jumps. The following variables were evaluated: jump height [cm], peak velocity [m/s], relative peak power [W/kg].

The DJ was performed according to the recommendations previously proposed by Young et al. [19]. To initiate the drop action, the athletes were instructed to “step off” the box one foot at a time (left limb first) and then to “jump up as fast as possible after contact with the ground, making sure that the jump is the highest possible”. This instruction prevented athletes from jumping out of the box. The athlete was instructed to perform the contact phase and landing phase on the force plate. The jump was invalid if the athlete raised the feet during the jump flight, landed behind the force plate, or jumped off the box. The DJ was performed from a 60 cm wooden box, as no greater drop heights are recommended in order to maximize RSI [20]. The following variables were evaluated: contact time (s), jump height (cm), RSI, and relative peak power (W/kg). The best jump in terms of height from the two attempts was used for further analysis.

2.2.4. Measurement of Maximum Isometric Hip Strength

After a standardized warm-up, the athletes performed the isometric strength test of the Abd-Add muscles. Athletes were positioned beneath the GroinBar Hip Strength Testing System (Vald Performance, Albion, Australia) in a supine position, and the bar height was customized for each athlete to ensure they maintained a knee joint angle of 45 degrees and a hip joint angle of 45 degrees during testing. After placing the femoral medial condyle of both knees on the sensors (sample rate of 50 Hz), the athletes were given a verbal command to complete a single attempt at approximately 80% of their maximum effort. Afterward, two maximum attempts interspersed with 3 min rest intervals were performed. Athletes were asked to push their femoral medial condyles against the pads for 5 s. Previous studies have shown high reliability of intra-class correlation coefficients (ICC) of 0.94 [21].

2.2.5. Measurement of Peak Power during the Leg Press

Peak power output obtained during the leg press exercise at 60% one-repetition maximum (1RM) was assessed using the Keiser Leg Press A420 pneumatic device (Keiser, Fresno, CA, USA). This external load was chosen because it falls within the range indicated as optimal for obtaining the highest values of peak power outputs during a leg press exercise [22]. The test was performed from a seated position (approximately 90° knee flexion) with feet flat on each footplate. Athletes were asked to complete each repetition by extending both legs together with maximum velocity and instruction to “push as fast as possible”. Each athlete performed two attempts with 3 min rest intervals, and the highest power output from each leg was retained for further analysis.

2.3. Statistical Analyses

The sample size for a Spearman correlation was determined using G*Power version 3.1.9.2 (Dusseldorf, Germany), a power of 0.8, the significance level of 0.05, and the effect size of 0.53–0.67 based on the previous study that investigated determinants of MAT test performance [16]. Based on the aforementioned assumptions, the required sample size was determined to be between 15 to 25. All statistical analyses were performed using the SPSS (version 25.0; IBM, Inc., Chicago, IL, USA). Data are presented as means and standard deviations (SD) with 95% confidence intervals. The normality of the data was confirmed by the Shapiro–Wilk test. Spearman’s correlation was used to determine the relationship between all measured variables and both limbs with 95% confidence intervals followed by stepwise forward regression. For regression analyses hip MIS, leg press peak power, vertical jumping, and sprint performance values were set as independent variables (predictors) and MAT performance as the dependent variable. The common variance between variables was described with the coefficient of determination (R^2). Correlations were evaluated as follows: trivial (0.0–0.09), small (0.10–0.29), moderate (0.30–0.49), large (0.50–0.69), very large (0.70–0.89), nearly perfect (0.90–0.99), and perfect (1.0) [23]. The significance level for the correlation and regression analysis was set as $p < 0.05$.

3. Results

Descriptive data for all the variables is shown in Table 1.

The correlation showed significant, moderate to very large negative correlations between MAT time initiated to the left or right side first (Table 2).

Table 1. Descriptive data (mean \pm SD [95% confidence intervals]).

Performance Test	Mean	SD	Lower Bound	Upper Bound
Countermovement Jump				
Jump Height (cm)	47.2	4.95	44.8	49.5
Peak Velocity (m/s)	3.16	0.21	3.05	3.26
Relative Peak Power (W/kg)	32.78	3.78	30.96	34.6
Drop Jump				
Jump Height (cm)	44.1	5.21	41.6	46.6
Relative Peak Power (W/kg)	110.45	11.9	104.72	116.19
Contact Time (s)	0.366	0.048	0.343	0.389
Reactive Strength Index (cm/s)	115.86	14.72	108.77	122.96
Hip Adductors and Abductors Maximum Isometric Strength				
Left Leg Adductors (N)	422	64	391	453
Right Leg Adductors (N)	432	66	400	464
Left Leg Abductors (N)	397	71	363	432
Right Leg Abductors (N)	409	65	377	440
Leg Press Peak Power				
Left Leg (W)	1199	229	1089	1309
Right Leg (W)	1206	238	1092	1321
Running Tests				
MAT LEFT (s)	6.21	0.24	6.10	6.32
MAT RIGHT (s)	6.24	0.28	6.10	6.37
5 m Sprint Time (s)	0.97	0.05	0.94	0.99
20 m Sprint Time (s)	2.96	0.09	2.91	3.00

MAT—modified agility T-test.

Table 2. Correlations between the MAT tests and vertical jump variables, 5 m and 20 m sprint time, abductors and adductors maximum isometric strength, and leg press.

Variables	Performance Test	
	MAT Left	MAT Right
CMJ JH	−0.686 **	−0.455 *
CMJ PV	−0.384	−0.289
CMJ RPP	−0.205	−0.318
CT	−0.166	0.126
RSI	−0.243	−0.274
DJ JH	−0.544 **	−0.379
DJ RPP	0	−0.024
AD _{LEFT}	−0.563 **	−0.575 **
AD _{RIGHT}	−0.410 *	−0.583 **
AB _{LEFT}	−0.481 *	−0.840 **
AB _{RIGHT}	−0.379	−0.786 **
5 m	0.044	−0.198
20 m	0.115	−0.101
LP _{LEFT}	−0.716 **	−0.659 **
LP _{RIGHT}	−0.636 **	−0.588 **

** Correlation is significant at the <math> < 0.01 < /math>; * correlation is significant at the <math> < 0.05 < /math>; MAT—modified agility T-test; CMJ JH—countermovement jump height; CMJ PV—countermovement jump peak velocity; CMJ RPP—countermovement jump relative peak power; CT—contact time; RSI—reactive strength index; DJ JH—drop jump height; DJ RPP—drop jump relative peak power; AD_{LEFT}—left leg adductors maximum isometric strength; AD_{RIGHT}—right leg adductors maximum isometric strength; AB_{LEFT}—left leg abductors maximum isometric strength; AB_{RIGHT}—right leg abductors maximum isometric strength; LP_{LEFT}—left leg peak power output during leg press; LP_{RIGHT}—right leg peak power output during leg press.

The regression analyses showed that the prediction model of left leg press peak power, left leg hip adductors MIS, and CMJ height were able to explain up to 93% of the MAT time

initiated to the left first, and the model including left leg hip adductors and abductors MIS was able to explain up to 83% of the MAT time initiated to the right side first (Table 3).

Table 3. Stepwise regression analyses relating left and right MAT with hip maximum isometric strength, Keiser leg press peak power, vertical jumping, and sprint performance values.

Y = MAT LEFT			
Variables	B	Beta	p
Constant		7.927	0.001 *
Leg Press _{LEFT}	−0.314	−0.001	0.038 *
AD _{LEFT}	−0.443	−0.002	0.002 *
CMJ JH	−0.585	−0.028	0.005 *
$R^2 = 0.93$			
Y = MAT RIGHT			
Variables	B	Beta	p
Constant		8.860	0.001 *
AB _{LEFT}	−0.498	−0.002	0.002 *
AD _{LEFT}	−0.290	−0.001	0.047 *
$R^2 = 0.83$			

* $p < 0.01$; B—unstandardized beta (regression) coefficient; Beta—standardized beta (regression) coefficient; R^2 —Pearson's multivariate coefficient of determination; CMJ—countermovement jump.

The regression model for the dependent variable $Y_{MAT\ LEFT}$ took the form:

$$Y_{MAT\ LEFT} = 7.927 - 0.001 \times \text{Leg Press}_{LEFT} - 0.002 \times \text{AD}_{LEFT} - 0.028 \times \text{CMJ JH}$$

In terms of practical implications, it means that if the value of the left leg peak power leg press result increases by a unit, the MAT initiated to the left side decreases by 0.001 s. Similarly, if the left leg hip adductors MIS or CMJ JH variable increases, the MAT initiated to the right will decrease accordingly by 0.002 s or 0.028 s.

At the same time, the independent variable having the most significant impact on the dependent variable turned out to be CMJ JH.

The regression model for the dependent variable $Y_{MAT\ RIGHT}$ took the form:

$$Y_{MAT\ RIGHT} = 8.86 - 0.002 \times \text{AB}_{LEFT} - 0.001 \times \text{AD}_{LEFT}$$

In terms of practical implications, if the value of the left leg hip abductors MIS result increase by a unit, the MAT initiated to the right side decreases by 0.002 s. If the left leg hip adductors' MIS increases by a unit, the MAT initiated to the right first decreases by 0.001 s.

At the same time, the independent variable having the most significant impact on the dependent variable turned out to include abductor left leg MIS.

4. Discussion

The results of this study showed that a large amount of the MAT performance could be explained by an athlete's strength and power characteristics; however, the model differs depending on which side it is initiated. Using the adjusted coefficient of determination, 93% of the MAT time initiated to the left first could be explained by a model including left leg peak power during the leg press, left leg hip adductors MIS, and CMJ height. On the other hand, 83% of the MAT time initiated to the right first might be predicted by dominant limb abductors and adductors' MIS. Correlations between the athlete's strength and power characteristics and the MAT initiated to the left and right were similarly significant, except for DJ height which was largely negatively correlated with the MAT initiated to the left first. In contrast, a very large negative correlation was found between right leg hip abductors MIS and MAT initiated to the right first.

Studies on the associations between the strength and power characteristics and MAT performance demonstrate equivocal findings. For example, Sassi et al. [12] reported no relationship between MAT time, 10 m linear sprint, and CMJ height with arm swing in male team sports players. However, these findings might not transfer to basketball since its game play is more specifically related to the shuffling motions in the MAT than other team sports (i.e., soccer and handball). To our knowledge, this and a study by Scanlan et al. [16] were the only ones that investigated relationships between MAT time and strength power-related characteristics among basketball players. However, comparing the results obtained in this study and Scanlan et al. [16] is difficult because the measures of strength and power-related outcomes used varied significantly between studies. Moreover, taking into account registered MAT times, it seems that the players participating in the Scanlan et al. [16] study were better trained compared to the participants of this study, which may also be a factor modulating the conclusions [24]. Nevertheless, significant knowledge and training clues can be derived from comparing those studies' data. Scanlan et al. [16] sought relationships between MAT time and absolute and relative peak force in CMJ and standing long jump distance. In contrast, height, peak velocity, and relative peak power during CMJ and DJ were evaluated in the current study. Scanlan et al. [16] showed a large negative relationship between standing long jump distance and relative peak force during CMJ and MAT time. While the current study found a moderate and large negative relationship between MAT time and tested vertical jumps height (DJ and CMJ). Therefore, it seems that MAT time might be associated with jumping performance. Nevertheless, it has to be highlighted that the remaining jumping measures (relative peak power, peak velocity, contact time, RSI) weren't significantly correlated. This indicates that more in-depth research evaluating various measures of jumping performance and MAT time is required to draw conclusions.

Concerning the relationship between MAT time and linear sprint, a study by Scanlan et al. [16] and the current ones consistently show no correlation with the 5 m distance. However, Scanlan et al. [16], contrary to Sassi et al. [12], showed a largely positive relationship between 10 m linear sprint and MAT time. Additionally, the current study found no association between 20 m and MAT time. That is surprising because the MAT test starts with a 5 m linear sprint. Therefore, since the longest distance is covered by the shuffle (10 m) compared to the linear sprint (5 m) and the backward run (5 m), it seems that MAT time can be mostly related to lateral movements. However, a study by Scanlan et al. [16] did not confirm this, showing a small association between the MAT time and lateral bound distance. Nevertheless, it should be noted that the tests were performed only on the dominant leg, which is a significant limitation because MAT involves bidirectional lateral movements. Additionally, to the best of the authors' knowledge, it was the first study that examined the relationship between athlete's abductors and adductors' MIS and MAT time. The results indicated a significant moderate to a large negative correlation between adductors of both lower limbs and MAT time. This may suggest that, rather than using complex movement measures such as the repeated lateral bounds used by Scanlan et al. [16], isolated measurement of the adductors' and abductors' strength is advisable in order to look for an association with MAT time. Additionally, the large and very large relationship between leg press peak power and MAT time found in the current study can confirm this.

Presumably, this is the first study that examined the relationship between male basketball players' strength and power characteristics and the MAT, depending on which side the first turn was initiated. Interestingly, a very large negative correlation was noted between abductors' MIS of both lower limbs and MAT to the right first. However, with MAT to the left first, the correlations were weaker, and only a moderate negative correlation was found with left leg hip abductors' MIS. Moreover, the regression models also differ depending on which side the first turn was initiated on. Thus, these findings highlight the first direction as a differentiating factor of MAT performance. Despite that, it has to be noted that the dominant leg (left for athletes of this study, as the preferable take-off leg during jumping) strength-power characteristics were crucial, no matter on which side the MAT was initiated.

Interestingly, studies investigating the relationship between athletes' strength and power characteristics and MAT performance considered trials performed only on the dominant leg or athletes' left side [7,16]. Indeed, the distance covered by each leg as a leading and supporting one is the same regardless of which side the first turn is performed, and changes of direction alternate between legs which may mask any differences between the ability to change direction. However, when turning to the left first, the leading leg for the first 2.5 m is the left leg, and then the right initiates the movement for another 5 m, then the following change occurs, and again for 2.5 m, the left leads. Therefore, the first turn determines which leg will lead for a longer time. Moreover, when turning to the left first, the right leg is the push-off limb twice (during the first and third turn). All athletes in this study were left-leg dominant. Therefore, the results of this study indicate that during the MAT initiated to the right first, the left leg hip abductors and adductors' MIS largely explain the time of this test. Since, in this scenario, the left leg was the push-off limb twice, it seems that its ability to re-accelerate was crucial for MAT time. Therefore, this might partially explain higher correlations reported between the left leg hip abductors and adductors' MIS and MAT initiated to the right first.

Certain study limitations should be acknowledged. One limitation of this study is that only the hip abductors and adductors MIS were assessed; thus, these relationships may vary if dynamic strength is evaluated. Furthermore, all of the participants were left leg dominant. In addition, only correlations between bilateral vertical jumps were evaluated instead of single-leg jumps. Moreover, considering that gender [12], playing level [24], and sports discipline [25] significantly impact relationships between MAT performance and strength power-related characteristics, caution is needed when extrapolating these results to other populations. Bearing in mind also the demands encountered by basketball players of different playing positions [26]. Additionally, assessing the electromyographic activity of hip muscles during MAT could shed new light on its involvement in lateral movements. Furthermore, it would be of great interest to examine the relationship between hip abductors and adductor MIS, single-leg lateral and vertical jumps, and other COD tests among athletes with a strength imbalance between the muscles mentioned above.

5. Conclusions and Practical Applications

To the best of the authors' knowledge, this is the first study that examined the relationship between an athlete's strength and power characteristics and the MAT, depending on which side the first turn was initiated. Findings from this study demonstrate that hip abductors and adductors MIS are highly related to MAT performance, with particular importance when the first turn is performed in the non-dominant direction in this test. Moreover, this study underlines the need for multiple component assessments of MAT performance, highlighting CMJ height, both limbs' peak power during the leg press exercise, and hip abductors and adductors MIS as deterministic factors. Based on the findings of this study, it might be inferred that the proper development of hip abductors and adductor MIS has the potential to improve MAT performance in basketball players.

Author Contributions: Conceptualization, M.P. and A.Z.; methodology, M.P. and A.Z.; software, A.M.; validation, A.M.; formal analysis, A.M.; investigation, M.P. and D.P.; data curation, M.P.; writing—original draft preparation, M.K. and M.P.; writing—review and editing, M.K., D.P. and M.P.; supervision, M.K. and A.Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: All subjects gave informed consent for inclusion before participating in the study. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and the protocol was approved by the Institutional Review Board of the Academy of Physical Education in Katowice (3/2021). Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The datasets analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Mikolajoc, K.; Waskiewicz, Z.; Maszczyk, A.; Bacik, B.; Kurek, P.; Zajac, A. Effects of Stretching and Strength Exercises on Speed and Power Abilities in Male Basketball Players. *Isokinet. Exerc. Sci.* **2012**, *20*, 61–69. [\[CrossRef\]](#)
- Ostojic, S.M.; Mazic, S.; Dikic, N. Profiling in Basketball: Physical and Physiological Characteristics of Elite Players. *J. Strength Cond. Res.* **2006**, *20*, 740–744. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Drinkwater, E.J.; Pyne, D.B.; McKenna, M.J. Design and Interpretation of Anthropometric and Fitness Testing of Basketball Players. *Sports Med.* **2008**, *38*, 565–578. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- McInnes, S.E.; Carlson, J.S.; Jones, C.J.; McKenna, M.J. The Physiological Load Imposed on Basketball Players during Competition. *J. Sports Sci.* **1995**, *13*, 387–397. [\[CrossRef\]](#)
- Ben Abdelkrim, N.; El Fazaa, S.; El Atti, J.; Tabka, Z. Time-Motion Analysis and Physiological Data of Elite under-19-Year-Old Basketball Players during Competition. *Br. J. Sports Med.* **2007**, *41*, 69–75. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Lockie, R.G.; Schultz, A.B.; Callaghan, S.J.; Jeffriess, M.D.; Berry, S.P. Reliability and Validity of a New Test of Change-of-Direction Speed for Field-Based Sports: The Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT). *J. Sports Sci. Med.* **2013**, *12*, 88–96.
- Spiteri, T.; Nimphius, S.; Hart, N.H.; Spocos, C.; Sheppard, J.M.; Newton, R.U. Contribution of Strength Characteristics to Change of Direction and Agility Performance in Female Basketball Athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 2415–2423. [\[CrossRef\]](#)
- Papla, M.; Krzysztofik, M.; Wojdala, G.; Rocznik, R.; Oslizlo, M.; Golas, A. Relationships between Linear Sprint, Lower-Body Power Output and Change of Direction Performance in Elite Soccer Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 6119. [\[CrossRef\]](#)
- Marcovic, G. Poor Relationship between Strength and Power Qualities and Agility Performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2007**, *47*, 276–283. [\[PubMed\]](#)
- Brughelli, M.; Cronin, J.; Levin, G.; Chaouachi, A. Understanding Change of Direction Ability in Sport: A Review of Resistance Training Studies. *Sports Med.* **2008**, *38*, 1045–1063. [\[CrossRef\]](#)
- Chaabene, H.; Prieske, O.; Moran, J.; Negra, Y.; Attia, A.; Granacher, U. Effects of Resistance Training on Change-of-Direction Speed in Youth and Young Physically Active and Athletic Adults: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med.* **2020**, *50*, 1483–1499. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Sassi, R.H.; Dardouri, W.; Yahmed, M.H.; Gmada, N.; Mahfoudhi, M.E.; Gharbi, Z. Relative and Absolute Reliability of a Modified Agility T-Test and Its Relationship With Vertical Jump and Straight Sprint. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 1644–1651. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Young, W.B.; James, R.; Montgomery, L. Is Muscle Power Related to Running Speed with Changes of Direction? *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2002**, *42*, 282–288. [\[PubMed\]](#)
- Lockie, R.G.; Callaghan, S.J.; Berry, S.P.; Cooke, E.R.A.; Jordan, C.A.; Luczo, T.M.; Jeffriess, M.D. Relationship Between Unilateral Jumping Ability and Asymmetry on Multidirectional Speed in Team-Sport Athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 3557–3566. [\[CrossRef\]](#)
- Wen, N.; Dalbo, V.J.; Burgos, B.; Pyne, D.B.; Scanlan, A.T. Power Testing in Basketball: Current Practice and Future Recommendations. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *32*, 2677–2691. [\[CrossRef\]](#)
- Scanlan, A.T.; Wen, N.; Pyne, D.B.; Stojanovic, E.; Milanovic, Z.; Conte, D.; Vaquera, A.; Dalbo, V.J. Power-Related Determinants of Modified Agility T-Test Performance in Male Adolescent Basketball Players. *J. Strength Cond. Res.* **2021**, *35*, 2248–2254. [\[CrossRef\]](#)
- Sugiyama, T.; Kameda, M.; Kageyama, M.; Kiba, K.; Kanehisa, H.; Maeda, A. Asymmetry between the Dominant and Non-Dominant Legs in the Kinematics of the Lower Extremities during a Running Single Leg Jump in Collegiate Basketball Players. *J. Sports Sci. Med.* **2014**, *13*, 951–957.
- Heishman, A.D.; Daub, B.D.; Miller, R.M.; Freitas, E.D.S.; Frantz, B.A.; Bembem, M.G. Countermovement Jump Reliability Performed With and Without an Arm Swing in NCAA Division 1 Intercollegiate Basketball Players. *J. Strength Cond. Res.* **2020**, *34*, 546–558. [\[CrossRef\]](#)
- Young, W.B.; Pryor, J.F.; Wilson, G.J. Effect of Instructions on Characteristics of Countermovement and Drop Jump Performance. *J. Strength Cond. Res.* **1995**, *9*, 232–236.
- Addie, C.D.; Arnett, J.E.; Neltner, T.J.; Straughn, M.K.; Creska, E.K.; Cosio-Lima, L.; Brown, L.E. Effects of Drop Height on Drop Jump Performance. *Int. J. Kinesiol. Sports Sci.* **2019**, *7*, 28. [\[CrossRef\]](#)
- Ryan, S.; Kempton, T.; Pacecca, E.; Coutts, A.J. Measurement Properties of an Adductor Strength-Assessment System in Professional Australian Footballers. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2019**, *14*, 256–259. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Thomas, M.; Fiatarone, M.A.; Fielding, R.A. Leg Power in Young Women: Relationship to Body Composition, Strength, and Function. *Med. Asp. Sci. Sports Exerc.* **1996**, *28*, 1321–1326. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–12. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

Research article

Acute Effects of Complex Conditioning Activities on Athletic Performance and Achilles Tendon Stiffness in Male Basketball PlayersMonika Papla ¹✉, Paulina Ewertowska ² and Michal Krzysztofik ^{1,3}¹ Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Poland; ² Division of Clinical Physiotherapy, Faculty of Physical Education, Gdansk University of Physical Education and Sport, Gdańsk, Poland; ³ Department of Sport Games, Faculty of Physical Education and Sport, Charles University in Prague, Prague, Czech Republic**Abstract**

The goal of this study was to compare the effects of a bilateral conditioning activity consisting of back squats and drop jumps with a unilateral one consisting of split squats and depth jumps to lateral hop over sequentially performed countermovement jump (CMJ), modified t-agility test (MAT), and Achilles tendon stiffness. Twenty-six basketball players participated in this study and were randomly and equally assigned to one of two different test groups: bilateral (B - CA) or unilateral (U - CA) conditioning activity group. The B - CA group completed 2 sets of 4 repetitions of back squats at 80% of one-repetition maximum (1RM), then 10 drop jumps, while the U - CA group performed 2 sets of 2 repetitions of split squats on each leg at 80%1RM, followed by 5 depth jumps to lateral hop on each leg as conditioning activity (CA) complexes. After a warm-up and 5 min before the CA the baseline Achilles tendon stiffness, CMJ, and MAT time measurement were performed. In the 6th min after the CA, all tests were re-tested in the same order. The two-way repeated measures mixed ANOVAs revealed that both B - CA and U - CA failed to produce significant improvements in CMJ and MAT performance. In addition, a significant increase in Achilles stiffness was demonstrated with both protocols (a main effect of time: $p = 0.017$; effect size = 0.47; *medium*). This study revealed that combining back squats and drop jumps, as well as split squats and depth jumps to a lateral hop, had no effect on subsequent CMJ and MAT performance in basketball players. Based on these results, it can be assumed that combinations of exercises, even if they have similar movement patterns, may cause excessive fatigue, resulting in no PAPE effect.

Key words: Post-activation performance enhancement, PAPE, change of direction, countermovement jump.

Introduction

The post-activation performance enhancement (PAPE) phenomenon refers to a brief, intense voluntary activity that will increase the performance of a subsequent athletic task (Golaś et al., 2016; Blazevich and Babault, 2019; Krzysztofik et al., 2020). To achieve this effect, in training practice as well as in scientific research, high-intensity resistance exercises are most often used before an explosive task with a similar movement pattern (Seitz and Haff, 2016). For example, a back squat performed prior to a vertical jumping. Since numerous studies have confirmed the efficacy of PAPE in acute athletic performance improvement (Chen et al., 2017; Tsoukos et al., 2019; Timon et al.,

2019; Krzysztofik and Wilk, 2020; Ciocca et al., 2021), it has become widely used in training sessions and as part of a pre-competition warm-up (O'Grady et al., 2021; Finlay et al., 2022). As mentioned above, chosen pairs of PAPE exercises should have similar movement patterns. This has to do with the fact that there is a high probability that the effect of PAPE is mainly local (Seitz and Haff, 2016; Cuenca-Fernández et al., 2017; Wong et al., 2020) and, for example, performing a back squat may improve vertical jump performance, but the effect may not be as significant in broad jump performance. Nevertheless, athletic requirements, both during training and sports competition, involve performing complex motor tasks, often in different directions, such as running with a change of direction.

Considering the similarity principle, it seems reasonable to perform several high-intensity exercises as a conditioning activity. Interestingly, to the best of the authors' knowledge, so far only a single study has evaluated the performance of two exercises as a conditioning activity. Kalinowski et al. (2022) assessed the impact of the use of isometric back squats in combination with drop jumps on the subsequent countermovement jump (CMJ) and a modified t-agility test (MAT). In order to better imitate the movement pattern, these exercises were performed bilaterally and unilaterally with the assumption that the former will improve CMJ and the latter MAT (bilateral half squat and double leg drop jump vs. split squat and single leg drop jump). Indeed, bilateral conditioning activity enhanced CMJ performance but not MAT. However, the unilateral conditioning activity was ineffective in enhancing both CMJ and COD. In fact, running is a cyclic action in which the individual alternates between flight and unilateral ground contact. Therefore, it seems that unilateral exercise may be more effective than bilateral ones in this case. However, during the MAT test half of the distance is covered using the slide-step movement. Therefore, lateral movements or a combination of split squats with lateral movement exercises would be even closer to mimicking the MAT test.

Another factor determining the PAPE effect is the fatigue-potential relationship (Seitz and Haff, 2016). The applied conditioning activity causes a certain level of fatigue and potentiation; thus, the objective is to perform the chosen exercise with a load in which potentiation exceeds fatigue. Following such an activation protocol an improvement in athletic performance can be expected. In a

study by Kalinowski et al. (2022), a significantly higher level of Achilles tendon stiffness was observed after unilateral conditioning activities compared to bilateral ones, which could indicate fatigue. In studies examining changes in muscle or tendon stiffness after fatigue protocols, an increase in stiffness was observed, which was accompanied by a decrease in physical performance (Wang et al., 2016; 2017; Trybalski et al., 2022; Lall et al., 2022). Accordingly, this indicates that the unilateral conditioning activity used in the study by Kalinowski et al. (2022) led to a level of fatigue that exceeded the potentiation, and, as a result, there was no effect on the CMJ and MAT results.

Therefore, the main goal of this study was to compare the effects of a bilateral conditioning activity consisting of back squats and drop jumps with a unilateral one consisting of split squats and depth jumps to lateral hop over sequentially performed CMJ, MAT test, and Achilles tendon stiffness. This was performed to expand the knowledge related to the principle of similarity of exercises and to determine how effective pairs of exercises are in PAPE protocols. We hypothesized that bilateral conditioning activities would improve CMJ but not MAT, while unilateral ones would improve MAT but not CMJ. We also hypothesized that none of the CAs would contribute to changes in Achilles tendon stiffness.

Methods

Participants

Twenty-six basketball players participated in this study and were randomly and equally assigned to one of two different test groups: bilateral (B-CA) (age: 24 ± 6 yrs, body mass: 87 ± 11 kg, body height: 191 ± 8 cm, basketball training experience: 15 ± 5 yrs) or unilateral (U-CA) conditioning activity group (age: 25.5 ± 8.6 yrs, body mass: 89.2 ± 12.7 kg, body height: 197 ± 17 cm, basketball training experience: 12 ± 6.5 yrs). The inclusion criteria were as follows: i) free from neuromuscular and musculoskeletal disorders, ii) no lower-limb surgery for two years prior to the study, iii) have at least four years of experience in basketball training and competition iv) take part in regular basketball and resistance training, and competition for a year prior to the study, v) consider themselves safe to participate in the exercise protocol included in the study design as determined by the self-administered Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). Participants were instructed

to maintain their usual dietary and sleep habits, and not to use any stimulants and alcoholic drinks throughout the study. Moreover, they were asked not to perform any additional resistance exercises 48-h before testing to avoid fatigue. Participants were allowed to withdraw from the experiment at any time and were informed about the benefits and potential risks of the study before providing their written informed consent for participation. Participants were not told of the expected study outcomes. The study protocol was approved by the Bioethics Committee for Scientific Research, at the Academy of Physical Education in Katowice, Poland (3/2021) and performed according to the ethical standards of the Declaration of Helsinki 2013. The sample size was calculated a priori based on a statistical power of 0.8, an effect size of $g = 0.29 - 46$, and a significance level of 0.05, taking acute changes in stiffness after exercise, and post-activation performance enhancement in jumping performance as a reference variable (Seitz and Haff, 2016; Pereira et al., 2020). A minimum sample size of between 12-26 individuals was obtained (G*Power [version 3.1.9.2], Dusseldorf, Germany).

Experimental sessions

The participants were randomly (using web-based software: randomization.com) assigned to either a B-CA or U-CA conditioning activity complex (Figure 1). The B-CA group completed 2 sets of 4 repetitions of back squats at 80% 1RM, then 10 drop jumps, while the U-CA group performed 2 sets of 2 repetitions of split squats on each leg at 80%1RM, followed by 5 depth jumps to lateral hop on each leg as conditioning activity complexes. A 3-minute rest interval was allowed between sets, while there was no rest within the conditioning activity complex. The high-intensity back squats, split squats, and drop jumps have been previously indicated to be effective in inducing an improvement in physical performance (Andrews et al., 2016; Dello Iacono et al., 2016; Krzysztofik et al., 2021; 2022). After a standardized warm-up, the tests were carried out in the following order: baseline Achilles tendon stiffness, CMJ performance and MAT time, CA, and post-CA re-test in the same order. The measurements ended approximately 5 min before the conditioning activity and the 6th min after the conditioning activity. This rest interval was selected because the greatest PAPE effect was reported typically 5-7 min (Wilson et al., 2013; Seitz and Haff, 2016).

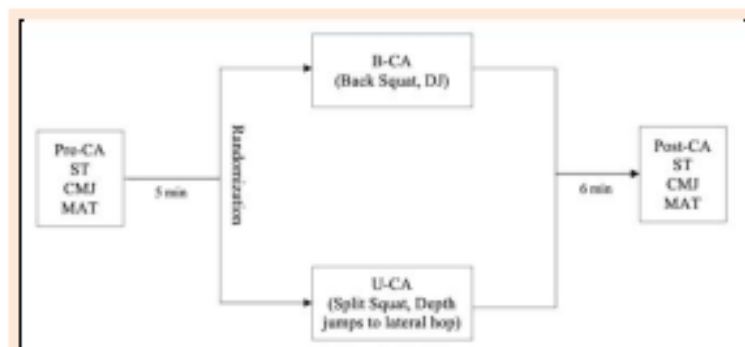


Figure 1. Study design. CA – conditioning activity; CMJ – countermovement jump; B-CA – bilateral conditioning activity; U-CA – unilateral conditioning activity; MAT – modified t-agility test.

Familiarization and one-repetition maximum test session

After a general body warm-up, the same as in the upcoming experimental session, the participants performed two attempts of the CMJ and MAT starting with shuffling on the dominant and non-dominant leg sides. Following that, the IRM back squat and split squat (both legs at one session) tests were performed in random order as described elsewhere (McCurdy et al., 2004). Afterward, the players performed the specific squat warm-up repetitions at a load of 20, 40, and 60% of their estimated 1RM. The first testing load was set to an estimated 80% 1RM and was increased by 2.5 to 10 kg for each subsequent trial. This process was repeated until failure but in no more than 5 attempts.

The familiarization session was conducted at least one week before the main experiment.

Measurement of Achilles tendon stiffness

The MyotonPRO, hand-held myometer (MyotonPRO, Myoton AS, Tallinn, Estonia) was used for the non-invasive assessment of viscoelastic muscle properties of the Achilles tendon through superficial mechanical deformation. The measurement of Achilles tendon stiffness (both limbs) was performed 2cm proximal to the superior aspect of the calcaneus (Bizzini and Mannion, 2003; Taş and Salkın, 2019) in a state of muscle relaxation with participants lying in a prone position with their arms resting beside the body. The probe of the device was positioned perpendicular to the skin, and a preload force of 0.18 N was used continuously while a brief mechanical compression (0.4 N for 15 ms) was applied. An accelerometer records the dampened oscillation that the soft tissue produces in response to mechanical impulses. The Myoton accelerometer was set at 3200 Hz with an average value obtained from three consecutive measurements. The validity and reliability of this device have been previously confirmed (Feng et al., 2018).

Measurement of jumping performance

Jumping assessments were performed on a force plate (Force Decks, Vald Performance, Australia), which has been previously confirmed as valid and reliable (Heishman et al., 2020). Each participant performed two CMJ without arm swing at pre-CA as a baseline and ~6 min. post-CA. The participant started in the standing position with hands placed on the hips for this measurement. Then, they dropped into the countermovement position to a self-selected depth and immediately followed by a maximal effort vertical jump. The participants were instructed to land in the same position as the take-off, in the midsection of the force plate. The participant reset to the starting position after each jump, and the procedure was completed for a total of two jumps. The jump height (calculated from flight time [$9.81 \times \{\text{flight time}\}^2/8$]), peak velocity, contraction time, and reactive strength index modified (as a ratio of jump height and contraction time) were evaluated. The best jump height after post-CA was kept for further analysis.

Measurement of change of direction performance

A MAT-test was used to determine multi-directional running speeds such as forward sprinting, right and left shuf-

fling, and backpedaling. Each participant performed the test twice, starting with shuffling on the dominant and non-dominant leg sides, in random order. The players started with the front foot placed 0.3m behind the starting gate A, then sprinted forward (at their own discretion) to cone B and touched the base of it. Facing forward and without crossing their feet they shuffled to the left or right cone C or D and touched its base, then shuffled to the corresponding cone D or C and touched its base. Following that, they shuffled back to cone B, touched its base, and finally ran backward to the starting gate. Running times were recorded using Swift timing gates (Swift Performance Equipment, QLD, Australia). The height was set at approximately 0.7m off the ground, corresponding to participants' hip height to avoid the timing gates being triggered prematurely by a swinging arm or leg. Times were measured to the nearest 0.01s. The best running time was kept for further analysis.

Statistical analysis

All statistical analyses were performed using SPSS (version 25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) and were shown as means with standard deviations (\pm SD) with their 95% confidence intervals (CI). Statistical significance was set at $p < 0.05$. The Shapiro-Wilk, Levene, and Mauchly's tests were used to verify the normality, homogeneity, and sphericity of the sample's data variances, respectively. The two-way repeated measures mixed ANOVAs ($2 \times [\text{B} - \text{CA}$ vs. $\text{U} - \text{CA}$ group] $\times 2$ time-points [pre- vs. post-CA]) were used to investigate the influence of CA on CMJ performance, MAT time, and Achilles tendon stiffness. When a significant main effect or interaction was found, the post-hoc tests with Bonferroni correction were used to analyze the pairwise comparisons. The magnitude of mean differences was expressed with standardized effect sizes. Thresholds for qualitative descriptors of Hedges g were interpreted as ≤ 0.20 "small", $0.21 - 0.79$ "medium", and > 0.80 as "large".

Results

The Shapiro-Wilk test did not show a statistically significant violation of data distribution in any of the examined variables. Levene's test showed heterogeneity of variance for RSI_{mod}, therefore, the ANOVA was carried out on absolute deviations from the mean of each group.

Countermovement jump performance

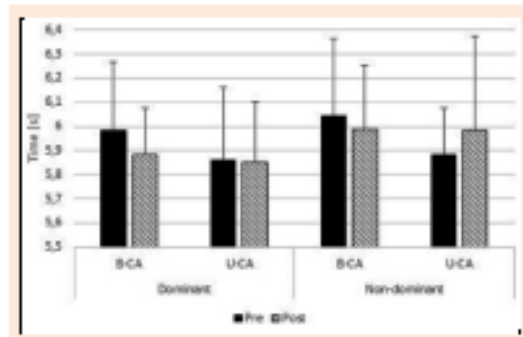
There were no statistically significant interactions for jump height ($F=2.122$; $p=0.158$; $\eta^2=0.081$), peak velocity ($F=0.396$; $p=0.535$; $\eta^2=0.016$), contraction time jump ($F=0.736$; $p=0.399$; $\eta^2=0.03$), or RSI_{mod} ($F=0.438$; $p=0.514$; $\eta^2=0.018$). Similarly, there were no main effect of condition for jump height ($F=0.259$; $p=0.616$; $\eta^2=0.011$), peak velocity ($F=0.396$; $p=0.535$; $\eta^2=0.016$), contraction time jump ($F=0.685$; $p=0.416$; $\eta^2=0.028$), or RSI_{mod} ($F=3.646$; $p=0.068$; $\eta^2=0.132$). Finally, there was no significant main effect of time-point for jump height ($F=0.165$; $p=0.688$; $\eta^2=0.007$), peak velocity ($F=1.424$; $p=0.244$; $\eta^2=0.056$), contraction time jump ($F=2.014$; $p=0.169$; $\eta^2=0.077$) or RSI_{mod} ($F=0.027$; $p=0.872$; $\eta^2=0.001$) (Table 1).

Table 1. Comparison of jumping performance pre- and post-conditioning activity.

Group	Pre-CA	Post-CA	ES	A%
Jump Height [cm]				
B-CA	39.3 ± 5.1 (36.5 to 42.1)	39.8 ± 5.1 (37 to 42.7)	0.10	1.3 ± 4.4
U-CA	38.7 ± 4.7 (35.9 to 41.6)	38.4 ± 4.8 (35.6 to 41.3)	-0.06	-0.9 ± 3.6
Peak Velocity [m/s]				
B-CA	2.87 ± 0.19	2.89 ± 0.16	0.11	1.3 ± 4.1
U-CA	2.84 ± 0.19	2.86 ± 0.18	0.10	0.4 ± 2.1
Contraction Time [ms]				
B-CA	868 ± 167	821 ± 165	-0.27	-4.9 ± 14.3
U-CA	808 ± 113	796 ± 103	-0.11	-3.5 ± 11.5
RSI_{mod}				
B-CA	0.47 ± 0.12	0.51 ± 0.14	0.30	9.2 ± 16.4
U-CA	0.48 ± 0.06	0.49 ± 0.13	0.13	1.3 ± 12.6

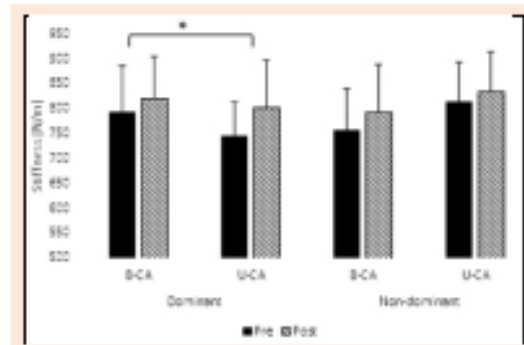
Change of direction performance

There were no statistically significant interactions for COD performance on the dominant side ($F=1.337$; $p=0.259$; $\eta^2=0.053$) and on the non-dominant side ($F=2.024$; $p=0.168$; $\eta^2=0.078$). Similarly, there were no main effects of condition on the dominant side ($F=0.701$; $p=0.411$; $\eta^2=0.028$) and the non-dominant side ($F=0.606$; $p=0.444$; $\eta^2=0.025$). Finally, there was no significant main effect of time-point on the dominant side ($F=1.651$; $p=0.211$; $\eta^2=0.064$) and the non-dominant side ($F=0.152$; $p=0.701$; $\eta^2=0.006$) (Figure 2).

**Figure 2.** Comparison of Modified t-agility test time stiffness pre- and post-conditioning activity.

Achilles tendon stiffness

There were no statistically significant interactions for the dominant leg ($F=0.899$; $p=0.353$; $\eta^2=0.036$) and non-dominant leg ($F=0.118$; $p=0.734$; $\eta^2=0.005$) Achilles tendon stiffness. Similarly, there were no main effects of the condition for the dominant leg ($F=1.2$; $p=0.284$; $\eta^2=0.048$) and non-dominant leg ($F=3.579$; $p=0.071$; $\eta^2=0.130$) Achilles tendon stiffness. Moreover, there was no main effect of time-point on the non-dominant leg ($F=1.946$; $p=0.176$; $\eta^2=0.075$), but a statistically significant main effect of time-point for dominant leg Achilles tendon stiffness ($F=6.576$; $p=0.017$; $\eta^2=0.215$) was found. The post-hoc comparisons showed a significant increase in Achilles tendon stiffness for the post-CA measure ($p=0.017$; effect size=0.47) in comparison to the pre-CA (Figure 3).

**Figure 3.** Comparison of Achilles tendon stiffness pre- and post-conditioning activity. * $p < 0.05$.

Discussion

The main goal of this study was to find out if the bilateral and unilateral conditioning activation complex contributes to a significant improvement in CMJ and MAT performance and if there is a significant difference in the magnitude of PAPE responses between these protocols. The findings revealed that both B-CA (back squats and drop jumps), as well as U-CA (split squats and depth jumps to lateral hop) failed to produce significant improvements in CMJ and MAT performance. In addition, an acute significant increase in Achilles stiffness may indicate decrease in sport performance was demonstrated with both protocols.

Several factors have been proposed to modulate PAPE responses (Seitz and Haff, 2016); however, it appears that they are primarily restricted to fatigue and potentiation net balance. Therefore, it seems that the explanation of these results should be sought in the unfavorable relationship between fatigue and potentiation after the applied conditioning activity. It has been repeatedly suggested that the applied conditioning activity induces a certain level of potentiation and fatigue (Seitz and Haff, 2016), when fatigue subsides and potentiation is still maintained at a high level, performance improvement is noted. Thus, it seems that in the current study, the level of potentiation and fatigue was unfavorable with both conditioning activities used. To the best of the authors' knowledge, this is the second study to date that considers the use of combined conditioning activities, and the first one was conducted in males. The study by Kalinowski et al. (2022) revealed that 6s maximal attempts of bilateral back squats followed immediately by 10 repetitions of drop jumps (as a bilateral conditioning activity) significantly enhanced CMJ performance but not MAT time in female volleyball players. Furthermore, 2 sets of 3s maximal trials of unilateral single-leg split squats followed by five repetitions of drop jumps on each leg failed to produce any significant changes in CMJ or MAT performance. However, it must be highlighted that in the MAT test, half the distance is covered with a slide step. Therefore, the unilateral exercises used in the Kalinowski et al. (2022) protocol does not fully reflect the lateral movements in the MAT test. Accordingly, one of the innovative aspects of the present study included the use of a depth jump to a lateral hop, which was supposed to mimic the side step found in the

MAT. We assumed that, in accordance with the motion similarity principle (Golaś et al., 2016; Dello Iacono et al., 2016), the U-CA would contribute to a greater acute improvement in MAT performance than the B-CA. Nonetheless, the conditioning activity used in this study did not improve either MAT or CMJ. It appears that the level of fatigue exceeded potentiation, and as a result, no improvement in fitness was obtained. Although the volume of conditioning activities in the current study was low, similar to the study by Kalinowski et al. (2022), a significant increase in Achilles stiffness after each conditioning activity was reported. An increase in tendon and muscle stiffness has been previously found after fatiguing protocols and was accompanied by an acute performance decrease (Wang et al., 2016; 2017; Trybalski et al., 2022; Lall et al., 2022). Therefore, it appears to confirm that the applied conditioning activity indeed produced a level of fatigue that exceeded potentiation.

Surprisingly, unlike the study by Kalinowski et al. (2022), the current study found no improvement in CMJ performance, MAT time after B-CA, and an increase in Achilles tendon stiffness. It seems that the sex of the participants may be an explanation, as males participated in this study and females in a study by Kalinowski et al. (2022). Despite the fact that a meta-analysis by Wilson et al. (2013) showed that sex does not moderate the magnitude of the PAPE effect, recent studies reported indications that such differences may exist (Wong et al., 2020). On the other hand, taking into account the sex difference in fatigability and recovery from fatiguing tasks and the impact of the potentiation-fatigue relationship on the PAPE effect, it can be assumed that males and females will respond differently to the same conditioning activity. Indeed, males are usually more fatigable than females, and recovery of force is slower for males after dynamic and isometric contractions (Hunter, 2016; Senefeld et al., 2018). Considering the above, it appears that males require a longer recovery time after the conditioning activity than females.

Moreover, in the study by Kalinowski et al. (2022) an isometric-plyometric conditioning activity was used, while in the present study, an isotonic-plyometric conditioning activity was applied. There is extensive evidence that both isometric and dynamic conditioning activities are highly effective in inducing the PAPE effect (Bogdanis et al., 2014; Spieszny et al., 2022; Krzysztofik et al., 2023). Moreover, even direct comparisons as in the Vargas-Molina et al. (2021) study showed similar increases in CMJ height after isometric (2 sets of 4 s at 75%1RM) and isotonic (2 sets of 3 repetitions at 75%1RM) squats. While this study used similar intensity and volume for barbell squats (2 sets of 4 repetitions at 80% 1RM), 10 drop jumps were then performed after each set. In addition, the energy cost of isometric work compared to dynamic is slightly higher (Duchateau and Hainaut, 1984; Cady et al., 1989). Due to this and the fact that males participated in the current study, perhaps the applied conditioning activities were too fatigable.

The results of this study should be considered in light of certain limitations. First of all, it should be emphasized that this study was not conducted in a crossover pattern. Despite the fact that the participants had a similar

sports level, taking into account the inter-individual variability in response to the conditioning activity (Chiu et al., 2003) it is not excluded that if the participants performed both protocols, the results of this study may have been different. Furthermore, the testing order of CMJ performance and MAT was not randomized, therefore it is possible that they might have impacted each other. Moreover, evaluations were made only after a single rest interval, so it is possible that the recorded PAPE response could differ after using rest intervals of a different time. In addition, although the conditioning protocols were similar in volume, performing a unilateral one could be more demanding given balance requirements. Finally, we did not measure the ground reaction forces during drop and depth jumps, thus the total volume being the same, perhaps the protocols differed in terms of intensity.

Conclusion

The findings of this study revealed that combining back squats and drop jumps, as well as split squats and depth jumps to a lateral hop, had no effect on subsequent CMJ and MAT performance in basketball players. Based on these results, it can be assumed that combinations of exercises, even if they have similar movement patterns, may cause excessive fatigue, resulting in no PAPE effect. However, due to the lack of significant evidence regarding the effectiveness of conditioning activation complexes in PAPE protocols, we recommend further testing them before complete rejection.

Acknowledgements

The experiments comply with the current laws of the country in which they were performed. The authors have no conflict of interest to declare. The datasets generated and analyzed during the current study are not publicly available, but are available from the corresponding author who was an organizer of the study.

References

- Andrews, S.K., Horodyski, J.M., Macleod, D.A., Whitten, J. and Behm, D.G. (2016) The interaction of fatigue and potentiation following an acute bout of unilateral squats. *Journal of Sports Science and Medicine* **15**, 625-632. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27928208/>
- Bizzini, M. and Mannion, A. F. (2003). Reliability of a new, hand-held device for assessing skeletal muscle stiffness. *Clinical Biomechanics*, **18**(5), 459-461. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(03\)00042-1](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(03)00042-1)
- Blazevich, A. J. and Babault, N. (2019). Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues. *Frontiers in Physiology*, **10**, 1359. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359>
- Bogdanis, G.C., Tselos, A., Veligekas, P., Tsolakis, C. and Terzis, G. (2014) Effects of muscle action type with equal impulse of conditioning activity on postactivation potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research* **28**, 2521-2528. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000444>
- Cady, E.B., Jones, D.A., Lynn, J. and Newham, D.J. (1989) Changes in force and intracellular metabolites during fatigue of human skeletal muscle. *The Journal of Physiology* **418**, 311-325. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1989.sp017842>
- Chen, Z.R., Lo, S.L., Wang, M.H., Yu, C.F. and Peng, H.T. (2017) Can Different Complex Training Improve the Individual Phenomenon of Post-Activation Potentiation? *Journal of Human Kinetics* **56**, 167-175. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0034>

- Chiu, L.Z.F., Fry, A.C., Weiss, L.W., Schilling, B.K., Brown, L.E. and Smith, S.L. (2003) Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research* **17**, 671-677. <https://doi.org/10.1519/00124278-200311000-00008>
- Cioeca, G., Tschan, H. and Tessitore, A. (2021) Effects of Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) Induced by a Plyometric Protocol on Deceleration Performance. *Journal of Human Kinetics* **80**, 5-16. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0085>
- Cuena-Fernández, F., Smith, L.C., Jordan, M.J., MacIntosh, B.R., López-Contreras, G., Arellano, R. and Herzog, W. (2017) Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: a pilot study. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* **42**, 1122-1125. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0217>
- Dello Iacono, A., Martone, D. and Padulo, J. (2016) Acute Effects of Drop-Jump Protocols on Explosive Performances of Elite Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* **30**, 3122-3133. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001393>
- Duchateau, J. and Hainaut, K. (1984) Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *Journal of Applied Physiology* **56**, 296-301. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.56.2.296>
- Feng, Y. N., Li, Y. P., Liu, C. L. and Zhang, Z. J. (2018). Assessing the elastic properties of skeletal muscle and tendon using shearwave ultrasound elastography and MyotonPRO. *Scientific Reports*, **8**(1), 17064. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34719-7>
- Finlay, M.J., Bridge, C.A., Greig, M. and Page, R.M. (2022) Upper-Body Post-activation Performance Enhancement for Athletic Performance: A Systematic Review with Meta-analysis and Recommendations for Future Research. *Sports Medicine* **52**, 847-871. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01623-6>
- Gohai, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikolajec, K. and Stastny, P. (2016) Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Journal of Human Kinetics* **52**, 95-106. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0197>
- Heishman, A.D., Daub, B.D., Miller, R.M., Freitas, E.D.S., Frantz, B.A. and Benben, M.G. (2020) Countermovement Jump Reliability Performed With and Without an Arm Swing in NCAA Division I Intercollegiate Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* **34**, 546-558. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002812>
- Hunter, S.K. (2016) The Relevance of Sex Differences in Performance Fatigability. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **48**, 2247-2256. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000928>
- Kalinowski, R., Pisz, A., Kolinger, D., Wilk, M., Stastny, P. and Krzyzstofek, M. (2022) Acute effects of combined isometric and plyometric conditioning activities on sports performance and tendon stiffness in female volleyball players. *Frontiers in Physiology* **13**, 1025839. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1025839>
- Krzyzstofek, M., Kalinowski, R., Trybulski, R., Filip-Stachnik, A. and Stastny, P. (2021) Enhancement of Countermovement Jump Performance Using a Heavy Load with Velocity-Loss Repetition Control in Female Volleyball Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **18**, 11530. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111530>
- Krzyzstofek, M., Spieszny, M., Trybulski, R., Wilk, M., Pisz, A., Kolinger, D., Filip-Stachnik, A. and Stastny, P. (2023). Acute Effects of Isometric Conditioning Activity on the Viscoelastic Properties of Muscles and Sprint and Jumping Performance in Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research, Publish Ahead of Print*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004404>
- Krzyzstofek, M. and Wilk, M. (2020) The Effects of Plyometric Conditioning on Post-Activation Bench Press Performance. *Journal of Human Kinetics* **74**, 99-108. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0017>
- Krzyzstofek, M., Wilk, M., Filip, A., Zmajewski, P., Zajac, A. and Tufano, J.J. (2020) Can Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) Improve Resistance Training Volume during the Bench Press Exercise? *International Journal of Environmental Research and Public Health* **17**, 2554. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072554>
- Krzyzstofek, M., Wilk, M., Pisz, A., Kolinger, D., Bichowska, M., Zajac, A. and Stastny, P. (2022) Acute Effects of High-Load vs. Plyometric Conditioning Activity on Jumping Performance and the Muscle-Tendon Mechanical Properties. *The Journal of Strength and Conditioning Research, Publish Ahead of Print*.
- Lall, P.S., Alsubieen, A.M., Aldahan, M.M. and Lee, H. (2022) Differences in Medial and Lateral Gastrocnemius Stiffness after Exercise-Induced Muscle Fatigue. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **19**, 13891. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113891>
- McCardy, K., Langford, G.A., Cline, A.L., Doscher, M. and Hoff, R. (2004) The Reliability of 1- and 3RM Tests of Unilateral Strength in Trained and Untrained Men and Women. *Journal of Sports Science & Medicine* **3**, 190-196. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24482597/>
- O'Grady, M.W., Young, W.B., Talpey, S.W. and Behm, D.G. (2021) Does the warm-up effect subsequent post activation performance enhancement? *The Journal of Sport and Exercise Science* **5**(4), 302-309. <https://doi.org/10.36905/jes.2021.04.08>
- Pereira, L.A., Ramirez-Campillo, R., Martin-Rodriguez, S., Kobal, R., Abad, C.C.C., Arrada, A.F.S., Guerriero, A. and Loturco, I. (2020) Is Tensiomyography-Derived Velocity of Contraction a Sensitive Marker to Detect Acute Performance Changes in Elite Team-Sport Athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance* **15**, 31-37. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0959>
- Seitz, L.B. and Haff, G.G. (2016) Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine* **46**, 231-240. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0415-7>
- Senefeld, J., Pereira, H.M., Elliott, N., Yoon, T. and Hunter, S.K. (2018) Sex Differences in Mechanisms of Recovery after Isometric and Dynamic Fatiguing Tasks. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **50**, 1070-1083. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001537>
- Spieszny, M., Trybulski, R., Biel, P., Zajac, A. and Krzyzstofek, M. (2022) Post-Isometric Back Squat Performance Enhancement of Squat and Countermovement Jump. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **19**, 12720. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912720>
- Taj, S. and Salkan, Y. (2019). An investigation of the sex-related differences in the stiffness of the Achilles tendon and gastrocnemius muscle: Inter-observer reliability and inter-day repeatability and the effect of ankle joint motion. *The Foot* **41**, 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2019.09.003>
- Timon, R., Allemann, S., Carnacho-Candefiosa, M., Carnacho-Candefiosa, A., Martinez-Guardado, I. and Okina, G. (2019) Post-Activation Potentiation on Squat Jump Following Two Different Protocols: Traditional Vs. Inertial Flywheel. *Journal of Human Kinetics* **69**, 271-281. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0017>
- Trybulski, R., Wojdala, G., Alexe, D.I., Komarek, Z., Aschenbrenner, P., Wilk, M., Zajac, A. and Krzyzstofek, M. (2022) Acute Effects of Different Intensities during Bench Press Exercise on the Mechanical Properties of Triceps Brachii Long Head. *Applied Sciences* **12**, 3197. <https://doi.org/10.3390/app12063197>
- Tsoukas, A., Brown, L.E., Veligeas, P., Terzis, G. and Bogdanis, G.C. (2019) Postactivation Potentiation of Bench Press Throw Performance Using Velocity-Based Conditioning Protocols with Low and Moderate Loads. *Journal of Human Kinetics* **68**, 81-98. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0058>
- Vargas-Molina, S., Salgado-Ramirez, U., Chalvi-Medrano, I., Carbone, L., Maroto-Izquierdo, S. and Benitez-Porres, J. (2021) Comparison of post-activation performance enhancement (PAPE) after isometric and isotonic exercise on vertical jump performance. *Plus One* **16**, e0260866. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260866>
- Wang, D., De Vito, G., Ditroilo, M. and Delahant, E. (2016) Effect of sex and fatigue on muscle stiffness and musculoskeletal stiffness of the knee joint in a young active population. *Journal of Sports Sciences* **35**, 1-10. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1225973>
- Wang, D., De Vito, G., Ditroilo, M. and Delahant, E. (2017) Different Effect of Local and General Fatigue on Knee Joint Stiffness. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **49**, 173-182. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001086>
- Wilson, J.M., Lowery, R.P., Joy, J.M., Loennecke, J.P. and Naimo, M.A. (2013) Practical Blood Flow Restriction Training Increases Acute Determinants of Hypertrophy Without Increasing Indices

of Muscle Damage. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27, 3068-3075.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828a1ffa>

Wong, V., Yamada, V., Bell, Z.W., Spitz, R.W., Vianna, R.B., Chatakondi, R.N., Abe, T. and Loermecke, J. P. (2020) Postactivation performance enhancement: Does conditioning one arm augment performance in the other? *Clinical Physiology and Functional Imaging* 40, 407-414.
<https://doi.org/10.1111/cpf.12659>

Key points

- There is limited data regarding the combination of exercises used as a conditioning activity to elicit post-activation performance enhancement.
- Complex conditioning activations consisting of high-intensity resistance and plyometric exercise combinations may be too fatigable to induce a post-activation performance enhancement effect in males.
- An acute significant increase in Achilles stiffness may indicate a decrease in sports performance.

AUTHOR BIOGRAPHY

Monika PAPLA

Employment

Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Poland

Degree

MSc

Research interests

Strength and conditioning training, post-activation performance enhancement

E-mail: m.papla@awf.katowice.pl

Paulina EWERTOWSKA

Employment

Chair of Health and Biological Sciences, Gdansk University of Physical Education and Sport, Gdańsk, Poland

Degree

PhD

Research interests

Physical rehabilitation, sports science

E-mail: paulina.ewertowska@awf.gda.pl

Michał KRZYSZTOFIK

Employment

Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Poland

Degree

PhD

Research interests

Strength and conditioning training, post-activation performance enhancement

E-mail: m.krzysztofik@awf.katowice.pl

✉ Monika Papla

Institute of Sport Sciences, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice, Poland.

11. Zgoda komisji bioetycznej

Uchwała Nr 3/2021
Uczelnianej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania
Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach
z dnia 17 czerwca 2021 roku
ws. opinii o projekcie eksperymentu medycznego.

Działając na podstawie § 6 ust. 5 Rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie szczegółowych zasad powoływania i finansowania oraz trybu działania komisji bioetycznych z dnia 11.05.1999r. (Dz. U. 1999 Nr 47, poz. 480) ustala się, co następuje:

§ 1.

Uczelniana Komisja Bioetyczna ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach po przeanalizowaniu wniosku zgłoszonego przez dr Michała Krzysztofika nt. „Analiza struktury wewnętrznej i zewnętrznej zdolności szybkościowo-siłowych z uwzględnieniem umiejętności zmiany kierunku biegu oraz ocena wpływu ukierunkowanego treningu na bezpośrednie i długofalowe zmiany adaptacyjne” oraz wysłuchaniu dodatkowych informacji i w wyniku przeprowadzonej dyskusji oraz głosowania

podjęła uchwałę o pozytywnym zaopiniowaniu wniosku

§ 2.

Wydana opinia dotyczy tylko rozpatrywanego wniosku z uwzględnieniem przedstawionego projektu; każda zmiana i modyfikacja wymaga uzyskania odrębnej opinii. Wnioskodawca zobowiązany jest do informowania o wszelkich poprawkach, które mogłyby mieć wpływ na opinie Komisji, o ciężkich lub niespodziewanych zdarzeniach niepożądanych i nieprzewidzianych okolicznościach i decyzjach innych komisji bioetycznych.

§ 3.

Komisja oczekuje raportu z badania po jego zakończeniu.

Do wiadomości:

1. dr Michał Krzysztofik;
2. aa

PRZEWODNICZĄCY
Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych
Akademii Wychowania Fizycznego
im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

dr hab. Krzysztof Ficek, prof. AWF Katowice

Zgodnie z § 8 Rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie szczegółowych zasad powoływania i finansowania oraz trybu działania komisji bioetycznych z dnia 11.05.1999r. (Dz. U. 1999 Nr 47, poz. 480) od uchwały komisji bioetycznej służy odwołanie do Odwoławczej Komisji Bioetycznej przy Ministrze Zdrowia, za pośrednictwem Uczelnianej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, w terminie 14 dni od daty otrzymania niniejszego pisma.